

부산 신항 항로설정에 관한 연구

성정경* · 정재용** · 이형기*** · 국승기**** · 박진수****

*한국해양대학교 대학원, **목포해양대학교 해상운송시스템학부,
한국해양대학교 운항훈련원, *한국해양대학교 해사대학

A Study on the Ships' Routeing in the Busan New Harbor

Jeong-Kyoung Seong* · Jae-Yong Jeong** · Hyung-Gi Lee*** · Seung-Gi Gug**** · Jin-Soo Park****

* Graduate School of Korea Maritime University, Busan, 606-791, Korea

** Mokpo National Maritime University, Mokpo, 530-729, Korea

*** Training Center of Ship Operation, Korea Maritime University, Busan, 606-791, Korea

**** Korea Maritime University, Busan, 606-791, Korea

요 약 : 건설중인 부산신항이 2011년에 개장하게 되면 해상교통량의 증가 및 12,000TEU급 초대형 컨테이너선의 입·출항이 예상되고 있다. 따라서 해상교통량의 증가 및 초대형 선박의 안전한 입·출항이 고려된 새로운 항로의 배치가 이루어져야 할 것으로 판단된다. 이 연구에서는 부산신항의 새로운 항로배치의 제안을 위해 해상상황, 해상교통 및 선형연구를 조사하였고 전문가 의견법 및 델파이법을 이용하여 항로배치안을 선정하였으며 그 적정성 여부의 검증을 위해 국내외 항로지침과의 비교·분석 및 시뮬레이션 검토를 실시하였다.

핵심어 : 해상교통, 통항량, 항로설정, 적정성 검토, 시뮬레이션

Abstract : The Busan New harbor will be opened by 2011, after which it is expected that the marine traffic volume around this area would increase significantly and that very large ships such as 12,000 TEU container ships would come into the port. Therefore, it is necessary to build a new ships' routeing by considering these factors.

In this paper, environmental circumstances, marine traffics, and the preceding studies have been reviewed and ships' routeing is proposed through experts' opinions and Delphi technique. For the purpose of validation, the proposed ships' routeings are reviewed by several guidelines on the ships' routeing and through simulation studies.

Key words : Marine traffic, Traffic volume, Ships' routeing, Simulation

1. 서 론

우리나라는 해상 물동량의 원활한 처리와 21세기 동북아시아의 중심항으로서 부산항의 역할을 확대하기 위하여 2011년 완공을 목표로 부산신항을 개발하고 있으며, 건설중인 부산신항이 2011년 개장하게 되면 해상교통량의 증가 및 대형 컨테이너 선박의 빈번한 입출항이 예상된다. 따라서 늘어나는 해상교통량 및 초대형 선박의 입·출항을 위한 안전한 항로지정이 필요하며 최근까지 이에 대한 연구가 꾸준히 진행되어 왔다.

그러나 이러한 연구들에 의해 제안된 항로지정은 모두 6,000~7,000TEU급 컨테이너 선박의 통항 및 입·출항을 기준으로 설계되어 최근 급속히 이루어지고 있는 컨테이너 선박

의 대형화 추세를 반영하지 못하였다. 즉, 2003년 한해동안 전 세계적으로 발주된 8,000TEU급 이상의 컨테이너는 총 79척이며 이미 삼성중공업¹⁾은 최근 세계최초로 9,600TEU급 컨테이너 선박 8척을 캐나다로부터 수주하였다. 현재 삼성중공업뿐 아니라 대우조선해양²⁾, 현대중공업³⁾ 등은 시장의 선점을 위하여 “꿈의 선박”으로 불리어지고 있는 12,000TEU급 컨테이너선의 개발 및 수주에도 본격 착수한다는 방침을 세워두고 있는 상황이다. 따라서 부산 신항이 동북 아시아 국제 물류 중심 항만으로서의 역할을 확고하게 수행하기 위해서는 추후 예상되는 12,000TEU급 선박이 안전하게 입출항 할 수 있고, 인근 항만을 통항하는 선박의 원활한 교통흐름을 유도하는 항로 배치에 대한 검토가 우선적으로 요구된다.

본 연구에서는 해당 수역의 항로여건, 바람 및 조류를 조사

* 대표저자 : 성정경(정회원), tongwhi@hotmail.com 051)410-4240

** 정회원, jyjong@mmu.ac.kr 061)240-7308

*** 정회원, hyongki@hhu.ac.kr 051)410-4773

*** 정회원, cooksg@hhu.ac.kr 051)410-4227

*** 정회원, jspark@hhu.ac.kr 051)410-4240

1) “삼성중공업 세계 컨선 역사 새로 쓴다” 한국해운신문, 2003. 11. 24

2) “대우조선해양-세계 최대 컨테이너선 수주” 해사신문, 2003. 5. 30 “대우조선, 5억 8600만불 선박수주” 한국해운신문, 2003. 12. 8

3) “컨선 대형화 추세 일반화 될 듯” 해사신문, 2003. 11. 11

하고 현재의 교통량과 해상교통의 흐름을 파악하기 위해 해상 교통조사를 실시하였다. 또한 현재의 항로 및 신항만의 항로 배치에 관한 선행연구를 조사·분석하여 기존 항로의 개선점을 검토하였다. 이후 텔파이법 및 전문가 의견법을 거쳐 항해 경험이 풍부한 선장 및 항해사로부터 도출된 항로 배치안에 도선사의 의견, 국내·외 항로지침을 통한 항로의 적정성 검토 결과 및 시뮬레이션 검토 결과 등을 반영하여 12,000TEU 급 컨테이너 선박이 안전하게 출입할 수 있는 최적의 항로배치를 제안한다.

2. 환경요소 조사·분석

2.1 기상 및 해양자료 조사

부산지방기상청의 기상관측자료⁴⁾를 분석한 결과 이 지역에서 주로 부는 바람은 지형적 특성에 의하여 하절기에는 남서풍, 동절기에는 북서풍이며, 24시간 평균 풍속은 3.8m/sec로 나타났다. 조사기간중(1982~2001년) 최대풍속은 25.7m/sec로서 풍향은 SSW로 1987년 7월에 나타났으며, 순간 최대풍속은 1987년 8월에 DINAH 태풍시 43.0m/sec로 이때의 풍향은 NE로 관측되었다. 또한 부산지방 추후소의 20년간(1978~1997년) 기상관측자료를 적용하여 풍향별 풍속별 빈도율을 분석한 결과, 풍향별 출현율은 NE 방향이 11.4%로 가장 높고, SSE 방향이 1.3%로 가장 적게 나타났으며, 계절별 풍향은 동계에는 NW, 춘계에는 NNE, 추계에는 NNE, NE풍이 우세하고 하계에는 SSW방향의 풍향이 우세한 것으로 나타났다.

가덕도 주변 해역의 창·낙조시 최강유속은 2.1kts 정도이고⁵⁾, 신항만 건설 후 내항이 될 예정인 가덕도와 육지간의 수역에서는 최강 창조류가 E'ly 0.3kts, 최강 낙조류는 W'ly 0.3kts 정도이다.⁶⁾

2.2 항로 여건

가덕수도는 Fig 1 과 같이 마산항, 진해항 및 통영항으로 진입하는 남해안의 주요 교통로로서 해상교통량이 폭증하기 때문에 마산지방해양수산청에서 지정항로로 고시하여 통항분리방식이 적용되고 있다. 가덕수도는 거제도 북동부와 가덕도와 사이로서 폭은 약 4.0마일이며, 이 수도를 지나 북서쪽에 있는 부도수도를 경유하여 마산항까지는 약 17.8마일이며 부산신항 접근 항로는 대륙도 근처에서 북쪽의 부산 신항 방파제 사이에 지정될 것이다.

수도의 중앙에 있는 병산열도 및 서쪽의 저도 사이의 중앙부근에는 주위 수심보다 훨씬 얇은 5.4미터의 암초가 있고, 병산열도의 동쪽 끝에 있는 호도 주위에도 낮은 노출암 등이 있지만 지정항로를 항해할 경우 위험요소는 거의 없는 편이다.

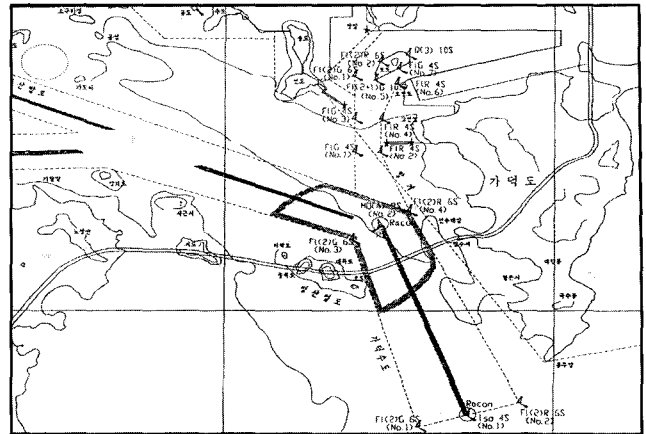


Fig. 1 Busan New Harbor

2.3 해상교통조사

1) 현재의 해상교통 상황

항로설정이나 관리용 시설을 포함하는 해상교통시스템이나 사고예방시스템을 설계하기 위해서는 사전에 해상교통조사를 실시하여 교통특성을 파악할 필요가 있다. 즉, 선박의 통행패턴, 진행방향 및 속력 등을 분석하여 최적의 항행원조시설을 설계할 때 중요한 기초자료가 된다(박진수, 1998).

가덕도 근해 해상교통조사는 가덕도 등대에서 목시관측과 레이더관측을 병행하여 실시하였다. 2003년 5. 13. 1800~5. 17. 0400시까지 가덕도 등대에서 총 82시간 실시하였고 사용장비는 휴대용 레이더(ANRITSU RA770UA)를 이용하였다.



Fig. 2 Ships' track by traffic survey

Fig. 2 는 82시간 동안 관측된 모든 선박의 항적을 나타내고 있다. 항적도를 보면 통항선박의 중기점(Origin-Destination)은 부산-가덕도 양방향, 일본-가덕도 양방향, 남해안-가

4) 기상연보(1982~2001년), 기상청

5) 국립해양조사원 조류도(부산에서 여수), 1982년 11월 간행 : 가덕도 부근 최강 창조시 1.1kts, 최강 낙조시 2.1kts

6) 부산 신항 방파제 실시 설계 용역(해양수산부, 1997. 7)시에 시행된 관측치와 해수유동 수치 모형 실험 결과 신항만 건설후 내항이 될 예정인 가덕도와 육지간의 수역에서는 최강 창조류가 E'ly 0.3kts, 최강 낙조류는 W'ly 0.3kts로 나타남

력도 양방향, 남해안-부산 양방향으로 크게 8개로 구분된다.

조사결과 선박의 종류는 화물선이 189척, 예인선이 72척, 여객선이 57척으로 대부분을 차지하고 있으며, 어선 13척, 관광선은 21척으로 조사되었다. 선박의 크기는 100~500톤이 6척, 500~3,000톤이 120척으로 100~3,000톤 사이의 선박이 전체 통항량의 61.4% 차지하고 있다. 통항시간대별 교통량은 800~1200시 사이가 일일평균 15척, 1600~1800시 사이가 일일평균 17척으로 통항량이 가장 많았으며, 2200~0600시 사이에는 평균 5척으로 통항량이 가장 적었다.

현재 가덕수도의 통항량은 수도의 넓이 및 통항선박의 크기를 고려할 때 여유가 있는 상황이나 가덕수도를 입·출항하는 선박과 부산·거제간을 고속으로 항행하는 연안 여객선이 가덕수도의 진입구 부근에서 서로 횡단 상태에 놓이게 되므로 특별한 주의가 필요하다.

2) 미래의 해상교통상황

“가덕신항만 기본계획 용역 보고서”(해양수산부, 1996)에 의하면, 1단계(2006년) 및 2단계(2011년)의 부산신항만 개발계획이 완료되면 컨테이너 물동량의 경우 2006년에 3,451,000TEU, 2011년에 8,076,000TEU에 이를 것으로 추정하고 있다.

일반화물선의 교통량도 크게 늘어 다목적 부두가 완공되는 2007년 이후 25만대의 자동차 물동량을 처리하기 위해서 매년 63척의 자동차 운반선의 입·출항이 예상될 뿐 아니라 마산, 진해 및 고현항을 입출항하는 연안선과 원양선 또한 Table 1과 같이 2006년은 9,435척, 2011년은 10,190척이 출입할 것으로 추측된다.

Table 1 Estimation of the marine traffic

구분	추정치								
	100GT 미만	100~500GT	500~3,000GT	3,000~5,000GT	5,000~7,000GT	7,000~10,000GT	10,000~20,000GT	20,000GT 이상	
2006	연안선	283	2,206	3,867	465	139	-	-	
	원양선	-	246	880	410	156	171	164	448
	신항만	-	-	-	-	-	-	-	-
소계	283	2,452	4,747	875	295	171	164	448	
2011	연안선	305	2,161	4,293	516	155	-	-	
	원양선	-	288	913	454	175	191	177	499
	신항만	-	-	-	-	-	-	-	63
소계	305	2,449	5,206	970	330	191	177	562	

3. 항로 지정

3.1 항로지정의 목적

항로지정 목적은 선박이 집중되는 수역과 통항 밀도가 높은 수역 또는 제한된 수역, 항해상 장애물, 제한된 수심 또는 안전후로 선박의 자유로운 움직임이 제한을 받는 곳에서 항로의 안전을 증진하기 위한 것이다(IMO, 1992). 항로를 지정

할 때 일반적으로 다음 사항을 고려하여 지정한다.

- 1) 마주치는 상태를 줄이기 위한 반대 방향 교통 흐름의 분리
- 2) 횡단하는 교통과 통항로를 지나는 교통과의 충돌위험 감소
- 3) 집중되는 수역에서의 교통 흐름 패턴의 단순화
- 4) 탐사 및 개발이 집중되는 수역에서의 안전한 교통흐름 계획
- 5) 모든 선박 또는 특정 종류의 선박의 항행이 위험하거나 바람직하지 못한 수역 또는 주위의 교통 흐름 계획
- 6) 수심이 불명확하거나 위험한 수역에서 선박에게 특별한 지침을 제공함으로써 좌초 위험 감소
- 7) 선박이 어장을 피하여 항해하도록 하는 지침

3.2 항로 지정에 관한 기존의 연구에 관한 조사 분석

“가덕신항만 개발 기본계획 용역 보고서”(해양수산부, 1996)는 부산신항에 관한 최초의 기본계획 보고서로서, 6,000~7,000TEU급 컨테이너선을 기준으로 신항만으로 진입하는 항로의 항로폭(600m), 선회장(650m), 항로수심(15.0m) 등에 관해 언급하고, 가덕수도 선박 통항 여건을 예상하는 등 이후의 다른 연구에 대한 기초 자료를 제공하였다. 그러나 상기에서 언급된 항로는 6,000~7,000 TEU급 컨테이너선을 기준으로 설계되었을 뿐 아니라 시뮬레이션 등의 절차를 통해 적합성 여부를 검증하지 못하였으며 가덕수도와 교차 지점에 대한 고려가 전혀 없다.

“가덕신항만의 안전항해 유도를 위한 최적 항로표지 설치에 관한 연구”(김민철, 1997)도 6,000~7,000TEU급 컨테이너선(길이 320m, 폭 43.0m)을 기준으로 신항만으로 진입하는 항로의 항로폭(600m) 등을 지정한 반면 “가덕신항만 개발 기본계획 용역 보고서”에 비하여 신항만에서 출항하는 선박이 용이하게 합류할 수 있도록 신항만 입구와 가덕수도의 교차 지점 부근에 있는 통항 분리선을 제거하였고 신항 방파제 바깥쪽의 항로의 폭을 넓혔으며 그 중앙에 통항분리대를 설정하였다. 그러나 지정된 항로 역시 6,000~7,000TEU급 컨테이너선을 기준으로 설계되었을 뿐 아니라 시뮬레이션 등의 절차를 통해 적합성 여부를 검증하지 못하였다.

“부산 신항만 준설토 투기장 호안 등 실시설계 보고서”(해양수산부, 1997)에서는 “가덕신항만 개발 기본계획 용역 보고서”에서 제시한 6,000~7,000TEU급 컨테이너선을 기준으로 설계된 항로의 항로폭(600m), 선회장(650m), 항로수심(15.0m) 등의 조건에서 6,000TEU급 컨테이너 선박을 이용하여 입출항 및 접이안 등에 관한 시뮬레이션을 실시함으로써 항로의 폭, 입출항 및 접이안에 특별한 문제가 없음을 확인하였으나 역시 12,000TEU급 선박을 위한 항로배치의 적합성 여부는 검증하지 못하였다.

“부산신항 연결잔교 및 다목적부두 설계 용역중 선박조종 시뮬레이션 검토 연구”(대영엔지니어링/헤이이엔씨, 2002) 또한 “가덕신항만 개발 기본계획 용역 보고서”에서 제시한

6,000~7,000TEU급 컨테이너선을 기준으로 설계된 항로의 항로폭(600m), 선회장(650m), 항로수심(15.0m) 등의 조건에서 40,000G/T 자동차 운반선(길이 211m, 폭 30.0m)과 20,000DWT(길이 212m, 폭 27.0m) 컨테이너 선박을 이용하여 남컨테이너 부두 끝단의 다목적 부두 및 연결잔교까지의 통항 및 접이안에 대한 시뮬레이션을 실시하였을 뿐 12,000TEU 컨테이너 선박에 대한 항로배치의 적합성 여부는 검증하지 못하였다.

“부산신항 남컨테이너부두(1차) 기본 및 실시 설계 용역 중 선박 조종 시뮬레이션 검토 연구 용역”(주)한아엔지니어링 외, 2003)은 위와 같은 조건에서, 4,000TEU, 8,000TEU, 12,000TEU급 컨테이너 선박의 입출항 및 접이안 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션 결과 8,000TEU와 12,000TEU 선박은 토도 남쪽의 좁은 항로 통과시 대각도 변침에 따른 압류 현상으로 조종에 대한 위험감과 제어의 어려움 때문에 토도의 남측 항로폭을 150m~200m 넓힐 필요가 있음이 도출되었다. 또한 8,000TEU 및 12,000TEU 선박의 접안장소로는 서컨테이너 부두 및 북컨테이너 부두를 지정할 것을 권고하고 있다.

이상의 5가지 연구 수행과정 및 결과를 종합해 볼 때 다음의 사실을 확인할 수 있다.

첫째, 상기의 모든 연구는 “가덕신항만 개발 기본계획 용역 요약보고서”에 따라 6,000~7,000TEU급의 컨테이너 선박을 기준으로 설계된 항로를 수정하거나 그대로 이용하였다.

둘째, 상기의 연구를 위한 시뮬레이션에 이용된 6,000TEU 컨테이너 선박, 20,000DWT 컨테이너 선박, 40,000G/T의 자동차 운반선으로는 12,000TEU급의 컨테이너 선박에 적합한 항로 배치에 대한 평가가 불가능하다.

셋째, 상기의 연구에서 진행된 시뮬레이션 결과를 통해 6,000~7,000TEU급의 컨테이너 선박을 기준으로 설계된 항로는 전용컨테이너 터미널로 이용해야 할 남컨테이너 부두의 경우 8,000TEU급 이상의 컨테이너 선박의 안전한 입·출항에 지장을 초래함을 확인할 수 있었다.

3.3 항로배치안의 도출

새로운 항로배치 도출을 위하여 이 연구에서는 델파이법(Delphi Technique)⁷⁾과 전문가 의견법(Experts' Opinions)이 함께 이용되었다. 즉, 항해 경험이 풍부한 선장 및 항해사 출신 7인을 대상으로 12,000TEU 컨테이너 선박의 안전한 입·출항에 적합한 각기 다른 2개의 항로배치안을 가덕도 부근 해도(해도 번호 W255)상에 도시하여 제시하도록 하였다. 7인에 의해 제시된 14개의 안은 3차례의 수렴과정을 거쳐 다음의 4개의 안으로 요약되었으며 이러한 4개의 안은 다시 부산항 도선사 협회의 의견을 수렴하여 기존의 연구에 많이 이

용되어 온 제1안과 조선자의 측면에서 보다 안전한 항로라고 판단되어지는 제4안의 2개안으로 압축되었다.

1) 제1안 : 현재의 가덕수도에 배치된 항로를 크게 변경하지 않고 이용할 수 있는 항로배치로 Fig. 3 과 같이 신항만 입구의 항로폭을 확장하여 그 중간에 통항 분리대를 설치하고, 대죽도 부근의 굴곡항로는 반경 4 Km의 반경을 가진 곡선으로 처리하여 항로폭을 증가시켰으며, 신항만 입구와 항로의 교차 지점 부근의 통항 분리선을 제거하여 신항만에서 출항하는 선박이 항로에 용이하게 합류하도록 하였다.

2) 제2안 : Fig. 4 와 같이 제1안 중에서 신항만 입구의 확장된 항로 중간에 있는 통항 분리대를 제거한 것이다. 선박이 대형화됨에 따라 방파제 사이의 좁은 수역에 설치된 통항 분리대는 오히려 선박조종에 부담감을 주게 될 것이라는 연구진의 의견을 수용하여 제1안의 대안으로 제시되었다.

3) 제3안 : Fig. 5 와 같이 신항 입구의 좌측 경계선을 신항의 서방제와 직각을 이루도록 하여 신항만 출항 선박이 토도를 통과한 후 변침없이 거의 일직선으로 항해하여 진행 항로에 곧바로 진입할 수 있도록 하였으며, 입항시에도 토도 앞에서의 대각도 변침을 가능한 줄임으로써 안전한 입항자세를 확보하도록 배려된 안이다. 이를 위해 가덕수도와 입출항 항로의 교차 지점은 선회 항행로와 경계해역으로 지정하고 제1안 및 제2안에 비해 마산, 충무, 진해 항로의 항로폭을 최대 2,490m까지 늘였다.

4) 제4안 : Fig. 6 과 같이 가덕수도 끝단으로부터 방파제 입구까지의 거리가 2마일에 불과하고 방파제 진입 후 북 또는 남 컨테이너 부두에 접안하기 위해서는 토도와 남컨테이너 부두 사이를 통과해야 하기 때문에 대각도 변침이 불가피하다. 이것은 조선자에게 커다란 부담감으로 작용할 것으로 판단되며, 12,000TEU급의 거대선박의 안전한 선박 조선에 많은 지장을 초래할 것이다. 이러한 점을 고려한 제4안은 제3안의 장점을 극대화 시킨 안이다. 즉 남컨테이너 부두 끝단과 토도 사이를 통과하여 입항하는 선박에게 좁은 항내에서 최소한의 변침만으로 수로로 진입이 가능하도록 신항 입구의 좌측 경계선을 서 방파제 끝단 및 토도 남단과 일직선이 되도록 배치하였다. 신항만 방파제를 지나 마산항로 및 충무항로로 진행하는 선박의 안전운항을 도모하기 위해 신항만 측면의 항로 폭을 넓게 설정함으로써 인해 신항만 입출항 선박과 마산, 충무항로를 통항하는 선박이 마주치는 주변 해역을 다른 안보다 넓게 확대했다. 좌측경계선의 항로 배치는 제3안과 동일하다.

7) 델파이법(Delphi Technique) - 여러 전문가의 판단을 조직적으로 수렴시켜 일치된 의견이나 예측을 도출하는 기법으로서, 데이터가 전혀 없거나 먼 미래의 장기적 변화를 예측해야 할 때, 많이 사용되는 기법이다.

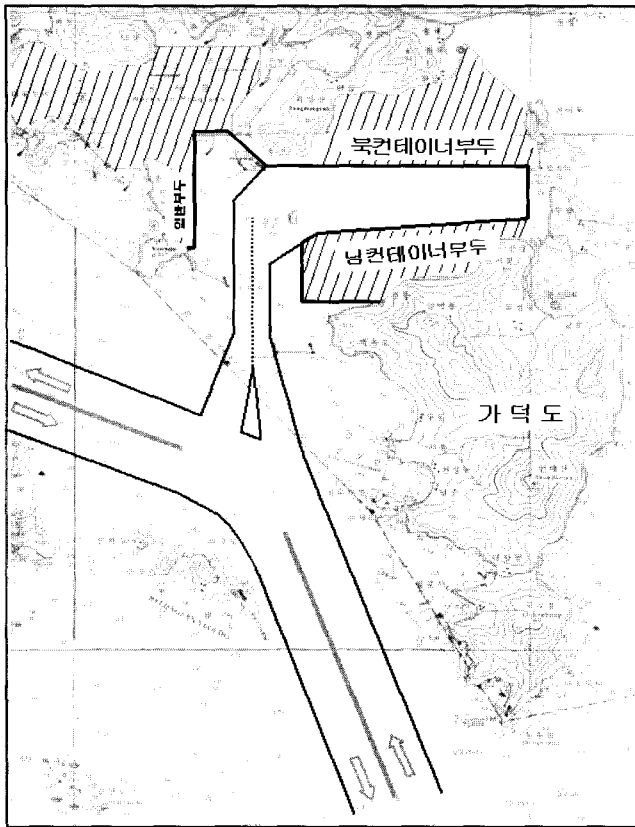


Fig. 3 Ships' routeing(Plan 1)

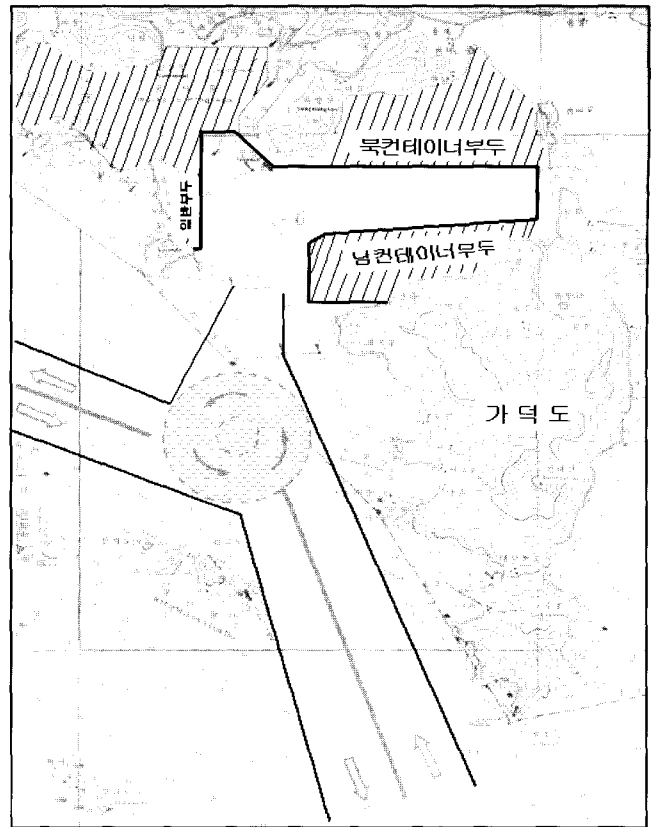


Fig. 5 Ships' routeing(Plan 3)

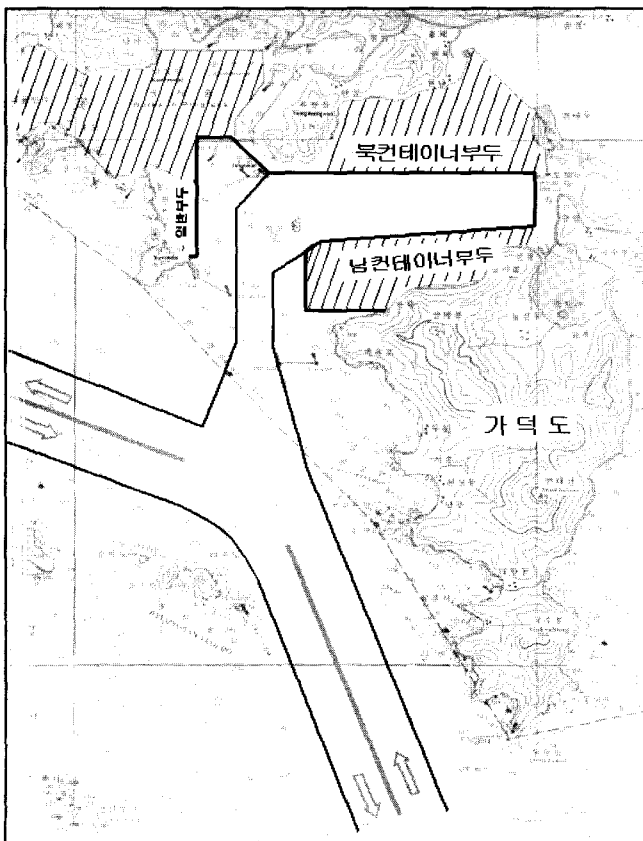


Fig. 4 Ships' routeing(Plan 2)

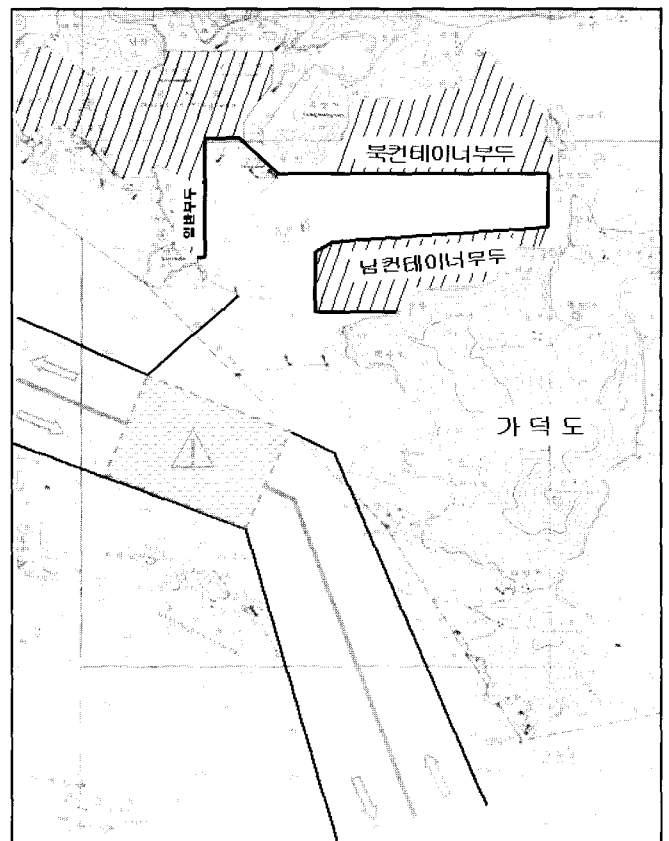


Fig. 6 Ships' routeing(Plan 4)

3.4 항로배치안의 적절성 검토

전문가에 의해 도출된 제1안과 제4안에 대해 12,000TEU 컨테이너 선박의 항해상 안전과 관계가 있는 항로배치와 폭, 수심 및 선회장 등에 대하여 국내외의 항만시설물 설계기준을 적용하여 적정성 검토를 실시하였다.

1) 항로의 배치

제1안이 방파제를 입출항할 때의 직선항로에 중점을 둔 반면 제4안은 토도와 남컨테이너 부두 사이의 협수로를 통과하는 직선항로에 중점을 두도록 설계되었다. 12,000TEU 선박의 경우 선체 길이를 398m로 산정하였고 이 경우 만곡부의 반경은 선체 길이의 5배에서 10배인 약 2,000m~4,000m가 필요하나 제1안은 방파제 통과후 토도앞 만곡부의 반경이 약 1,850m로 약간 부족하고, 제4안의 경우는 직선항로로 이루어져 만곡부의 반경을 고려하지 않아도 되었다. 항로가 좁아지는 부분인 토도와 남방파제 사이의 통과 지점을 기준으로 약 2,000m의 직선 통항로가 설치되어야 하나 제1안의 경우는 길이가 3,200m, 제4안은 직선항로로 이루어져 충분한 직선 항로를 가지고 있다.

Table 2 Comparison of route layout

고려 사항	적정성	
	제1안	제4안
해당 해역의 바람, 조류, 파도 등을 감안한 선체 운동역학	적합	적합
육상의 항로표지 성능	적합	적합
항로는 가급적 직선항로가 되도록 설계	적합	적합
항로의 만곡부의 반경은 선체 길이의 최소 5배 이상(가능한 10배 이상)	부적합	적합
교량 등이 있거나 항로가 좁아지는 경우 선체 길이의 5배 이상의 직선 통항로를 전후에 설치	적합	적합

자료) 선박의 안전을 위한 최적항로배치 및 항로폭 결정에 관한 연구, 1995

2) 항로폭

항로 폭에 대하여 Table 3 과 같이 각국의 항로설정 기술기준의 비교 결과 제4안의 경우 등, 서 방파제 통과지점에서 최소 항로 폭을 가지며 그 거리가 1,420m이므로 모든 항로설정 기술기준을 만족하나, 제1안의 경우는 방파제 횡단시 600m의 최소 항로폭을 가지므로 ICORELS'S REPORT의 기준에는 부합되지 않아 항로폭을 다소 넓힐 필요가 있음이 확인되었다.

또한 Table 4 와 같이 최소 항로 폭에 대한 검토 결과 제1안은 방파제 횡단시 항로 폭이 600m에 불과해 불량의 조종 성능을 가진 12,000TEU의 선박이 방파제를 통과할 때는 항로 폭이 좁은 것으로 나타났다. 그러나 제4안의 경우는 항로폭 자체는 만족하지만 입항하는 선박과 출항하는 선박이 횡단 상태가 되어 현실적으로는 양방 통행이 어렵다.

Table 3 Width of fairway

설정 기준	설정 방법	항로폭 (m)	적정성		비고
			제1안	제4안	
항만시설물 설계기준서	L~1.5L	398~597	적합	적합	대상선박 12,000TEU L = 398m B = 55m
일본 항만시설의 기술상 기준 및 동해실	1.5L	597	적합	적합	
Port Development	7B+30	415	적합	적합	
ICORELS'S REPORT	10B+WP	658	부적합	적합	WP=Lsina =398sin15.8 =108.4m
Port Engineering	7.3B~9.5B	402~523	적합	적합	
Planing & Design of Port & Marine Terminals	7B~9B	385~495	적합	적합	

자료) 가덕신항만 개발 기본계획 용역 보고서, 1996

Table 4 Minimum width of fairway

항로구분		항로폭 (선폭 B의 배수)		
		선박 조종성능		
		양호	보통	불량
양방 통행 항로	직선 구간	8B(440m)	10B(550m)	12B(660m)
	만곡 부	15도 만곡	10B(550m)	12B(660m)
		30도 만곡	12B(660m)	14B(770m)
		45도 만곡	14B(770m)	16B(880m)
일방 통행 항로	직선 구간	4B(220m)	5B(275m)	6B(330m)
	만곡 부	15도 만곡	5B(275m)	6B(330m)
		30도 만곡	6B(330m)	7B(385m)
		45도 만곡	7B(385m)	8B(440m)

자료) 선박의 안전을 위한 최적항로배치 및 항로 폭 결정에 관한 연구, 1995

3) 수심

수심에 대한 검토 결과 가덕도 입구에서 대죽도에 이르는 항로는 대죽도 부근에서 약최저저조면 기준으로 17.1~17.6m의 수심이 발견됨으로써 부분적인 준설이 필요하다. 대죽도에서 마산, 충무 방면의 현행 항로는 대체로 필요수심을 만족하나 현행 No.1 부표 앞의 13.1m의 침선 및 17m의 수심을 가진 지역의 준설이 필요하다. 현행 항로의 우측 경계선에서 신항 방파제에 이르는 수역은 8.0~15.5m의 수심을 가지고 있으므로 전면적인 준설이 불가피하다. 제1안에 비하여 제4안이 넓은 준설 구역을 필요로 한다.

Table 5 Depth of water

항로	필요 수심	적정성		비고
		제1안	제4안	
가덕도입구 ~대죽도	Draft + 0.2D (18m)	부적합	부적합	No.1 부표 부근 준설 요함
대죽도 ~망와도	Draft + 0.15D (17.25m)	부적합	부적합	No.1 부표 부근의 13.6m 침선 제거 요함
신항방파제 입구	Draft + 0.15D (17.25m)	부적합	부적합	준설을 필요로 하며 제1안에 비해 제4안의 준설 면적이 큼.

4) 선회구역

선회구역은 PIANC Rule에 따르는 경우 선박이 적절한 마력을 갖는 적절한 예선의 지원을 받는 상태에서 조류가 0.10m/s 이하이고, 선회 선박이 정하홀수 상태일 경우라도 바타이 10 m/s 이하라면 선체길이의 두 배에 해당하는 지름을 가진 구역으로 충분하나, 조건이 충족되지 않을 때는 3배의 지름을 가진 원으로 정해진다. 이러한 점을 고려할 때, Table 6 과 같이 방파제 전면과 토도 앞에서의 선회장을 고려하여 볼 때 제1안의 경우에는 방파제 전면에서의 선회가 필요없고, 제4안의 경우에는 토도 앞에서 선회가 특별히 필요 없게 된다. 제1안의 경우 토도 앞에서는 796~1,194m의 직경을 가진 선회구역이 필요하나 선회구역의 직경은 약 400m에 불과하여 부적합하며, 이에 비하여 제4안은 특별한 선회구역을 요구하지 않는다. 또한 방파제 전면에서 제4안의 경우에는 비교적 넓은 2,600m 직경의 선회 구역이 충분히 확보되어 적합하다고 판단되며, 제1안의 경우 특별한 선회구역을 요구하지 않는다.

Table 6 Turning basin

항로	선회구역 (기준: 2L~3L/ 790~1,185m)	적정성		비고
		제1안	제4안	
토도앞 선회구역	400m	부적합	적합	제4안은 특별한 선회구역 불필요.
방파제 전면	2,600m	적합	적합	제1안은 특별한 선회구역 불필요.

이상의 적정성 검토를 통한, 제1안의 장점은 기존의 항로를 크게 변경하지 않고 이용이 가능할 뿐 아니라 가덕도 진입구부터 큰 변침없이 용이하게 신항 방파제에 이를 수 있다는 것이다. 또한 방파제 앞쪽의 준설구역을 최소화 할 수 있다는 이점도 있다. 반면 단점으로는 토도앞 만공부의 반경이 기준에 못 미치고, 항로쪽에 있어서 부분적으로 최대기준을 만족하지 못하며, 보통 이하의 조종 성능을 가진 12,000TEU의 선박이 방파제를 통과 할 때는 일방통행만이 가능하였다. 뿐만 아니라 토도앞 선회구역이 기준을 만족하지 못하였다.

이에 반하여 제4안의 경우는 신항만 입항 선박이 동 방파제와 떨어져 변침하여 토도와 남 컨테이너 부두 사이의 좁은 공간에 쉽게 접근할 수 있을 뿐 아니라 항로배치, 항로폭, 선회구역에 대하여 국내의 기준을 모두 만족하였다. 그러나 제1안에 비교하여 신항 방파제 앞 준설 구역을 넓게 확장해야 하는 단점이 있다.

3.5 시뮬레이션 검토

전문가에 의해 도출된 제1안과 제4안에 대해 12,000TEU 컨테이너 선박을 이용하여 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션은 5명의 선장 출신조종자를 상대로 하였고 시나리오는 바람, 조류를 독립변수로 하여 발생할 수 있는 최대 수치를 Table 7 및 Table 8과 같이 지정하였다.

Table 7 Scenario planning(Gadeok Fairway)

시나리오번호	입·출항	조류	풍향 / 풍속
		145°- 2.1노트	최고 NE 20노트
제 1 안	입 항	145°- 2.1노트	NE 20노트
제 4 안	입 항	145°- 2.1노트	NE 20노트

Table 8 Scenario planning(In port)

시나리오번호	입·출항	조류	풍향 / 풍속
		270°- 0.3노트	최고 NE 20노트
제 1 안	입항	270°- 0.3노트	NE 20노트
제 4 안	입항	270°- 0.3노트	NE 20노트

시뮬레이션의 평가는 시뮬레이션 실시 이후 조종자가 느끼는 위험감과 조종자가 느끼는 선박의 제어의 어려움 항목에 대하여 각 7단계로(-3, -2, -1, 0, +1, +2, +3 : +값이 커지면 안전하고, -값이 커지면 위험) 응답하도록 하였다.

응답결과는 Table 9 및 Table 10 과 같이 제1안에 비해 제4안이 조종자가 느끼는 위험감과 조종자가 느끼는 선박 제어의 어려움을 덜 느끼는 것으로 확인되었다.

Table 9 Statistics for subjective evaluation elements

		입항	입항
		제1안	제4안
조종위험도	평균	- 0.5	0.0
	편차	1.5	1.3
조종곤란도	평균	-0.75	-0.3
	편차	1.30	1.5

Table 10 Statistics for control evaluation elements

		입항	입항
		제1안	제4안
타각사용량	평균	19.6	12.61
	편차	12.5	10.39
선회율	평균	3.0	2.85
	편차	2.8	3.45

4. 결 론

대다수의 이용자들은 항로배치 제4안을 선호하였고, 항로지정안의 적정성 및 시뮬레이션 검토 등에서도 제4안이 유리한 것으로 확인되었다.

그러나 제4안 역시 연구 과정에서 제시된 다양한 의견을 바탕으로 다음과 같이 부분적으로 보완되었다.

첫째, 동·서방파제가 연약지반에 축조되었고, 현재에도 침하가 진행되고 있음을 고려하여, 항로의 외곽선은 동·서방파제로부터 각각 100m 거리를 두고 설정하였으며, 가덕수도와 동방파제를 잇는 항로의 우측 경계선을 추가하였다.

둘째, 가덕수도 출항항로 변침부의 직각부분을 ACM Method를 이용하여 확장함으로써 출항하는 선박이 대각도 변침을 피하고 원활히 출항할 수 있도록 하였다. 확장된 항로의 경우 가덕도 등대와 일직선으로 배치하여 항로의 등부표와 가덕도 등대와의 이중물표에 의해 선위를 쉽게 확인할 수 있도록 하였다. 뿐만 아니라 가덕수도 출항항로의 항로 폭을 호도 전면에서 150m 줄여 기존항로의 12.9m의 등심선을 항로 바깥으로 설정하고 호도와의 이안거리를 안전하게 확보하였으며, 이에 따라 경계해역(Precautionary Area)의 크기를 확장하였다.

셋째, 가덕도 연안을 주항로로 하고 있는 어선 및 여객선이 운항할 수 있는 Inshore Traffic Zone을 가덕도 동두말 부근에서 천성만 북단까지 설정하였다. 현재 가덕도 인근의 어선 및 여객선은 가덕도 연안을 주항로로 하고 있으며 이러한 소형선이 항로상에 존재할 경우 신항 입항을 위하여 저속으로 전진하며 정침해야 하는 대형 컨테이너 선박에 많은 부담감을 줄 뿐 아니라 이에 따른 해양사고의 위험이 있기 때문이다.

넷째, 가덕도 남단의 가덕수도 입구는 가덕수도 입출항 선박 및 부산-거제간을 왕복하는 (쾌속)여객선, 부산-남해안 사이를 통과하는 선박으로 인해 매우 높은 교통밀도를 보이고 있을 뿐 아니라, 횡단상태에 놓이게 되어 항행에 위험을 초래하고 있다. 이러한 해역에서의 안전성을 확보하기 위하여 현행 교통흐름을 최대한 반영하여 선회항행로를 지정하였다.

이 연구의 결론으로서 제안된 Fig. 7 의 항로 배치는 2011 년 부산신항 개장으로 인한 해상교통량의 증가와 초대형 선박의 입·출항을 감안할 때 선박의 안전한 입·출항에 크게 기여할 것으로 판단된다.

Table 11 Chart datum of the proposed ships' routing

구분	위치(경위도)	구분	위치(경위도)
①	34° 58'.98N - 128° 49'.18E	㉔	34° 56'.46N - 128° 46'.87E
②	35° 02'.02N - 128° 47'.63E	㉕	34° 55'.84N - 128° 47'.41E
③	35° 02'.88N - 128° 47'.19E	㉖	34° 56'.70N - 128° 48'.04E
④	34° 58'.79N - 128° 48'.42E	㉗	34° 56'.55N - 128° 48'.50E
⑤	35° 01'.48N - 128° 47'.37E	㉘	34° 55'.53N - 128° 48'.48E
⑥	34° 58'.60N - 128° 47'.69E	㉙	34° 55'.86N - 128° 49'.57E
⑦	35° 00'.85N - 128° 47'.02E	㉚	34° 56'.58N - 128° 49'.31E
⑧	35° 01'.77N - 128° 45'.32E	㉛	34° 55'.92N - 128° 49'.77E
⑨	35° 02'.47N - 128° 43'.00E	㉜	34° 56'.26N - 128° 50'.86E
⑩	35° 03'.50N - 128° 46'.75E	㉝	34° 56'.95N - 128° 50'.00E
⑪	35° 02'.62N - 128° 45'.70E	㉞	34° 57'.67N - 128° 50'.35E
⑫	35° 03'.32N - 128° 43'.39E	㉟	34° 57'.60N - 128° 51'.55E
⑬	35° 02'.19N - 128° 45'.50E	㊱	34° 58'.30N - 128° 51'.29E
⑭	35° 02'.89N - 128° 43'.20E	㊲	34° 58'.33N - 128° 50'.19E
A	34° 57'.76N - 128° 48'.83E	㊳	34° 58'.49N - 128° 51'.21E
C	34° 57'.64N - 128° 47'.32E	㊴	34° 59'.22N - 128° 50'.94E
D	34° 57'.22N - 128° 45'.98E	㊵	34° 58'.82N - 128° 49'.68E
E	34° 56'.62N - 128° 46'.72E	(a)	34° 59'.80N - 128° 50'.43E
F	34° 57'.10N - 128° 47'.55E	(b)	35° 02'.05N - 128° 48'.43E

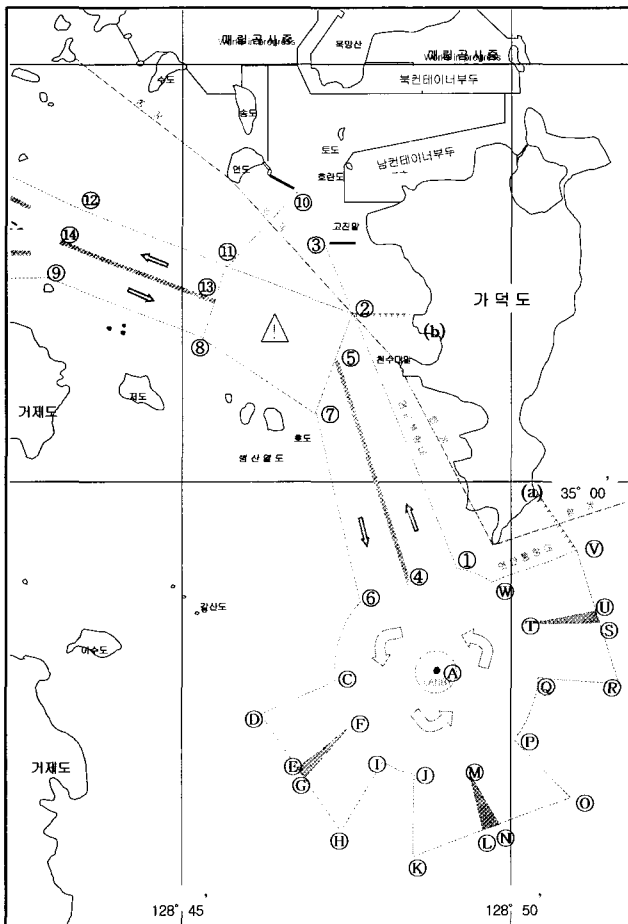


Fig. 7 Proposal by this research

참고 문헌

- [1] 기상청(1982~2001), 기상연보.
- [2] 김민철(1997), 가덕신항만의 안전항해 유도를 위한 최적 항로표지 설치에 관한 연구, 공학석사 학위논문.
- [3] 김환수(1995), 선박의 안전을 위한 최적 항로 배치 및 항로폭 결정에 관한 연구, 해양안전학회지, 제 1권 1호, pp.10~12.
- [4] 대영엔지니어링, 헤인이엔씨(2002), 부산신항 연결잔교 및 다목적부두 축조공사 대안설계 용역중 선박 조종 시물레이션 검토 연구용역.
- [5] 박진수(1998), 해상교통공학.
- [6] 한아엔지니어링, 건일엔지니어링, 도화종합기술공사(2003), 부산신항 남컨테이너부두(1차) 기본 및 실시 설계 용역 중 선박조종 시물레이션 검토 연구용역.
- [7] 해양수산부(1996) 가덕신항만 개발 기본계획 용역 보고서.
- [8] 해양수산부(1997), 부산 신항만 준설토 투기장 호안 등 실시 설계보고서(선박조종 시물레이션 및 항로검토 편).
- [9] IMO(1992), "Ships' Routing" Amendments.
- [10] ICORELS of PIANC(1980), "Optimal Lay-out and Dimensions for the Adjustment to Large Ships of Maritime Fairway in Shallow Seas, Seastraits and Maritime Waterways", Report of Working Group 4 of PIANC, Brussel, Belgium.

원고접수일 : 2003년 10월 26일

원고채택일 : 2004년 6월 10일