

工學碩士 學位論文

침매터널 설치에 따른 가덕수로의
안전통항방안 연구

A Study on the Safe Navigation Plan by Construction of
the Immersed Tube Tunnel across Gaduck Channel

指導教授 鞠 承 淇

2008年 2月

韓國海洋大學校 大學院

海洋警察學科

林 珉 永

本 論 文 을 林 珉 永 의 工 學 碩 士 學 位 論 文 으 로 認 准 함

委 員 長 工 學 博 士 李 殷 邦 (印)

委 員 地 球 環 境 科 學 博 士 薛 東 一 (印)

委 員 工 學 博 士 鞠 承 淇 (印)

2008年 2月

韓 國 海 洋 大 學 校 大 學 院

목 차

표 목차	iii
그림 목차	iv
<i>Abstracts</i>	v
제1장 서 론	1
1.1 연구의 배경	1
1.2 연구의 내용	1
제2장 자연환경 및 건설사업 개요	3
2.1 인근해역의 기상	3
2.1.1 기상 개요	3
2.1.2 기상 분석	5
2.1.3 해상 현황	13
2.2 부산-거제간 연결도로 건설사업 계획	19
2.2.1 사업의 목적	19
2.2.2 사업 계획	20
2.2.3 침매터널 시공법	21
2.2.3 준설작업 계획	26
제3장 해상교통환경	28
3.1 해상교통의 개요	28
3.1.1 해상교통조사의 목적	28
3.1.2 해상교통조사의 의의	28
3.1.3 가덕수도 해역의 교통항적도	29
3.2 해상교통 혼잡도 평가	33
3.2.1 해상교통량 추정	33
3.2.2 해상교통 혼잡도 평가	39
제4장 공사에 따른 안전통행방안	46
4.1 가덕수도 임시항로의 설정검토	46

4.1.1 가덕수도의 기존 항로	46
4.1.2 항로의 설계기준	47
4.2 가덕수도 임시항로 설정안 및 기타 안전통항대책	64
4.2.1 가덕수도의 임시항로 설정대안	64
4.2.2 가덕수도의 임시항로 설정 최종안	65
4.2.3 관련법의 검토	73
4.2.4 기타 안전통항 대책	73
제5장 결 론	75
참고문헌	77

표 목차

<표 2-1> 천기일수	4
<표 2-2> 월별 풍속	5
<표 2-3> 풍속 10m/sec이상 일수	5
<표 2-4> 우리나라에 영향을 미친 태풍수 (1904-2004년)	7
<표 2-5> 부산지방을 통과한 주요 태풍의 풍향과 풍속	8
<표 2-6> 월별 안개발생일수	11
<표 2-7> 월별 기온	11
<표 2-8> 강수량	12
<표 2-9> 해면기압	12
<표 2-10> 가덕수도에서의 월별 평균 유의파고	14
<표 2-11> 가덕도지역의 조화상수 및 비조화상수	15
<표 2-12> 가덕도 부근의 조류 특성	16
<표 3-1> 연도별 톤급별 선박비율	35
<표 3-2> 일반화물선의 예상교통량	36
<표 3-3> 일반 화물선의 톤급별 척수	37
<표 3-4> 각 연도별 개장할 안벽 및 야드	38
<표 3-5> 입항 선박량의 추정척수	39
<표 3-6> 통항선박 규모별 분포	41
<표 3-7> 선박규모별 최소이격거리 및 기본통항 용량	42
<표 3-8> 시간당 최대 통항가능척수	43
<표 3-9> 선박통항 가능척수 및 예측교통량 비교	45
<표 4-1> 항로폭에 대한 일반 기준	55
<표 4-2> 항로의 폭 (우리나라의 경우 포함)	60
<표 4-3> 통항량이 드문 항로에 대한 각 기준별 편도항로의 폭	62
<표 4-4> 대상선박에 따른 필요 항로의 폭 (우리나라의 경우)	63
<표 4-5> 공사 1단계 부표위치	67
<표 4-6> 공사 2단계의 부표위치	69
<표 4-7> 공사 3단계의 부표위치	70

그림 목차

<그림 2-1> 바람장미도	6
<그림 2-2> 태풍경로도(1)	9
<그림 2-3> 최강 창조류	17
<그림 2-4> 최강 낙조류	17
<그림 2-5> 대표 창조류시 세부역의 유속장(현상태, 1995. 7. 27, 18:00)	18
<그림 2-6> 대표 낙조류시 세부역의 유속장(1995. 7. 28, 00:00)	18
<그림 2-7> 침매터널 종단면도	22
<그림 2-8> 합체(Element) 해상이동장면	22
<그림 2-9> 임시계류 단면도	23
<그림 2-10> 계류 배치도	23
<그림 2-11> 위치조정 장면	23
<그림 2-12> 시공순서도1	24
<그림 2-13> 시공순서도2	25
<그림 2-14> Trailing suction hopper dredger의 준설공사도	26
<그림 2-15> 준설구간	27
<그림 2-16> 준설폭의 횡단면도	27
<그림 3-1> 전체 통항선박 항적도	30
<그림 3-2> 통항경로대별 항적도	30
<그림 3-3> 가덕도 주변해역 AIS 항적(2006.8.27-29)	31
<그림 3-4> 가덕도 주변해역 AIS 항적(2006.8)	32
<그림 3-5> 연도별 톤급별 선박척수	34
<그림 3-6> 톤급별 선박비율	34
<그림 3-7> 일반화물선의 예상교통량	36
<그림 4-1> 가덕수도의 항로배치도	47
<그림 4-2> 항로폭	54
<그림 4-3> 만곡부에서의 항로폭 증가 방법	57
<그림 4-4> 항로 만곡부 배치	59
<그림 4-5> 준설구간도	66
<그림 4-6> 1단계의 임시항로 배치 및 공사부표 배치도	68
<그림 4-7> 2단계의 임시항로 배치 및 공사부표 배치도	71
<그림 4-8> 3단계의 임시항로 배치 및 공사부표 배치도	72

*A Study on the Safe Navigation Plan by
Construction of the Immersed Tube Tunnel across
Gaduck Channel*

Lim, Min-Young

Development of Maritime Police Science

The Graduate School of Korea Maritime University

Abstracts

It is first planned in Korea, the construction of an immersed tube tunnel across the Gaduck Channel. This research is on the safe navigation plan to prevent any sea-traffic accident from the establishment of the immersed tube tunnel across Gaduck Channel, a specific seaway for safe traffic.

The following investigations must be preceded for the research of the safe navigation plan. There are weather conditions like wind, typhoon, temperature, fog and precipitation, and marine conditions including a tide, ebb and flow. Throughout this sort of study, it became possible to conduct the proper seaways, traffic analysis of ships, and future traffic estimations. For these purposes, marine traffic data were collected such as the marine traffic patterns, vessels' moving directions, and their velocities of the sea traffic on the Gaduck Channel.

The main result is to set up the preliminary conditions for safe marine

traffic and its construction, establishing alternative plans for commencement. Finally, the dredging area was divided into 3-sectors, and the safe navigation plan was applied during the constructions period. The purposes of this research are to investigate marine traffic congestion, to establish temporary seaways and to suggest the optimal safe navigation plans.

Also, the main results of this study are as follows, to decide the correct location of light buoys, and verify the safety of navigation with a vessel-navigation simulation on the temporary seaway.

제1장 서론

1.1 연구의 배경

본 연구의 배경이 되는 부산~거제간 연결도로 건설공사는 원활한 산업물동량 수송으로 부산·경남 광역권의 생산성 극대화 및 남해고속도로의 만성적인 교통체증해소와 지역균형개발 촉진을 위하여 계획하게 되었다. 이 건설공사는 국가지원지방도 58호선으로서 부산~거제간 연결도로 건설사업 중 경상남도 거제시와 부산광역시 가덕도를 해저터널로 연결하는 사업이다. 이러한 지역 교통망의 연결은 거제시 관광수요의 처리, 부산신항만 및 주변 공업단지에서 발생하는 산업물동량을 원활한 수송에 기여할 것이다. 주변개발의 촉진을 도모하고 또한 부산서남부 및 거제시 주변의 교통취약지역의 도로망을 확충함으로써 부산·경남 광역권의 교통 혼잡 해소에 기여하는 주요도로로서의 기능을 수행할 것이다.

부산~거제간 연결도로 건설공사에서 시공하는 침매터널은 우리나라 최초의 공법을 사용하는 공사이다. 침매터널이란 해저에 미리 트렌치를 굴착한 후 육상의 별도의 제작장에서 적당한 길이로 나누어 제작한 터널 합체(Element)를 시공하고자 하는 장소까지 물에 띄어서 운반한 후 순차적으로 침설, 되메어 만든 터널을 말한다. 가덕수도의 해저로 횡단하는 침매터널을 건설하기 위해서는 준설작업이 필요하다. 이에 따라 불가피하게 준설선이 가덕수도 항로를 횡단하며 준설을 해야 한다. 이는 상대적으로 가덕수도를 통항하는 선박들의 잠재적인 위험상황으로서 충돌 등의 해난사고가 발생할 가능성이 있다. 사회 간접 자본으로서의 도로 공사를 단기간의 통행의 불편이 예상된다고 하여 하지 않을 수 없으므로 공사 중에 통항선박에 대한 안전사고방지를 위한 안전통항방안이 필요하며 이에 따라 해양교통시설로서 공사용 등부표 등을 설치하여 안전통항을 유도하는 것이 필요하다고 할 수 있다.

1.2 연구의 내용

본 연구는 가덕수도 항로를 횡단하여 준설공사를 시행함에 따른 선박 안전통항방안을 제시하는 연구로서 공사 중 안전통항을 위해 기초적으로 수반되어야

할 선행 과정들을 연구함으로써, 다른 해상 공사 시에 안전통항방안에 대한 자료가 될 것으로 믿는다. 본 연구에서는 가덕수로의 바람, 태풍, 온도, 안개, 기온, 강수 등 기상현황 및 조류, 조석 등 해상현황을 조사하였다. 또 항로점유로 인한 통항안전방안을 설계하기 위해서는 사전에 해상교통조사를 실시하여 교통특성을 파악해야만 한다. 즉, 선박의 통항패턴, 진행방향 및 속력 등을 분석하여 임시항로의 설정과 공사용 등부표 등의 위치를 설계할 수 있다. 가덕수도를 통항하는 출입선박의 교통량 조사·분석 및 향후예측을 하였다. 또한 안전한 준설공사 및 통항을 위해 필요한 전제조건을 설정하고 이를 수행할 수 있는 대책을 수립하였다. 그 대책으로서 준설구간을 여러 구간으로 나누고 해당 준설구간을 준설하는 동안 그 구간을 통제하는 방안을 제시하였다. 이에 따라 임시항로를 설정하는 한편 준설구역에 공사용 등부표의 위치를 결정하고 선박통항시물레이션을 통해 통항선박의 안전성을 검증하였다.

본 연구는 다음과 같은 내용을 범위로 하였다.

1. 가덕수로 해역의 자연환경조사
2. 가덕수로 항로와 통항선박의 교통량분석 및 향후 예측
3. 가덕수로의 해상교통 혼잡도 평가
4. 가덕수로에서의 준설공사에 따른 안전통항방안 제시

제2장 자연환경 및 건설사업 개요

2.1 인근해역의 기상

2.1.1 기상 개요

우리나라는 남북으로 길고 유라시아 대륙 동안(東岸)에 자리잡고 있으며, 삼면이 바다로 둘러싸인 반도국가로, 기후적으로는 대륙과 해양의 영향을 교호(交互)로 현저히 받고 있어 남북의 기온차가 크다. 또, 해류와 지형 등의 영향으로 동해안과 서해안 지역의 기온이 서로 큰 차이를 보인다. 겨울에는 대륙으로부터 한랭건조한 대륙성기단이 내습하여 기후는 대륙적인 색채가 강하여 저온과 건조가 그 특징이 된다. 한편, 여름에는 대양으로부터 고온다습한 해양성기단이 내습하여 기후는 해양화되어 고온다습하고 강수가 많다. 따라서, 우리나라는 일반적으로 동일 위도대의 다른 지역에 비하여 겨울에는 저온이고, 여름에는 고온인 대륙적인 색채가 짙은 이른바, 동안기후(東岸氣候)를 나타낸다.

부산을 포함하는 영남지방은 한반도의 남동단에 위치하며, 위도와 경도상으로는 북위 34도 29분에서 37도 08분, 동경 127도 35분에서 129도 28분에 걸쳐 위치하고 있다. 영남지방의 북쪽은 태백산맥에서 분기되는 소백산맥을 경계로 하여 강원도, 충청북도와 도계를 이루고 있고, 서쪽은 소백산맥을 경계로 하여 전라북도, 전라남도과 도계를 이룬다. 영남지방의 남동해안에는 쿠로시오(Kuroshio)로부터 분류되어 대한해협을 통과하여 북상하는 동한난류(東韓暖流)가 흐른다. 영남지방은 쾨펜의 기후구분에 의하면 온대다우(溫帶多雨)형에 속하고, 남해안지방은 해양의 영향을 많이 받아 평균기온은 다른 지역에 비하여 높은 편이다. 그리고 태풍이 내습할 때에는 많은 피해를 입기도 한다.

부산지방은 우리나라 남동측의 해안에 위치하여 바다와 접하고 북측에는 산악지가 있어, 여름철에는 내륙지방보다 기온이 비교적 낮으며 겨울철에는 기온이 비교적 높아서 연간 기온의 차이가 적다. 내륙지방에 비해 바람은 강한 편이며 여름에 태풍의 피해를 많이 받는 지역이다.

부산지방기상청의 기상관측 자료(1982~2001년)를 정리한 결과, 부산지방의 월별 연평균기온은 14.7℃이며, 1월의 평균기온은 3.1℃로 최저이고, 8월의 평균기온은 26.1℃로 연중 가장 높다. 연평균 강수량은 1,495.5mm로 전체 강수량의 62.2%가 6월에서 9월 사이에 집중되어 여름철의 우기와 겨울철의 건기가 명확

히 구분되는 지역으로서 조사기간 중 강수량이 가장 많은 연도는 1985년(2,200.5mm)이며, 가장 적은 연도는 1988년(901.5mm)이었다.

연평균 풍속은 3.8m/sec이고 조사기간 중 최대풍속은 25.7m/sec(1987년 7월, 남남서풍)이며, 풍속 10.0m/sec 이상의 폭풍일수는 68.8일로 조사되었다. 풍향은 겨울철에 북서풍이, 여름철에 남서풍이 우세하며 연평균 2~3회 정도로 태풍의 영향을 받는다.

연평균 천기일수는 맑음일수 110.3일, 흐림일수 107.3일, 강수일수(10.0mm 이상) 36.8일로 나타나고 있으며, 안개발생일수는 연평균 16.6일이며, 주로 5월에서 7월 사이에 발생한다. 이 지역의 천기일수 및 기상개요는 <표 2-1>과 같다.

<표 2-2> 천기일수

(단위 : 일)

월 구분	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	전년
맑음	14.6	11.4	8.2	8.5	7.6	2.8	3.5	5.2	6.3	11.2	14.0	17.0	110.3
흐림	4.9	6.1	10.2	9.0	10.4	14.4	15.7	11.3	11.1	6.5	4.6	3.1	107.3
안개	0.1	0.3	0.8	1.7	3.1	4.4	5.1	0.6	0.2	0.1	0.2	-	16.6
강수	1.4	1.6	3.1	3.6	3.7	4.7	5.6	5.2	3.9	1.9	1.3	0.8	36.8
강설	1.5	1.4	0.6	0.1	-	-	-	-	-	-	0.2	0.9	4.7
결빙	23.6	17.1	5.6	0.3	-	-	-	-	-	0.1	3.2	16.2	66.1
뇌전	-	0.3	0.5	0.9	1.4	0.7	2.9	3.1	0.9	0.3	0.5	-	11.5
폭풍	8.1	6.3	7.9	7.2	5.2	3.4	5.9	4.6	3.6	3.9	5.6	7.1	68.8
혹한	1.0	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	1.5

안개가 많이 발생하는 5월에서 7월은 음파표지 및 전파표지를 사용하는 것을 고려하는것이 좋음.

2.1.2 기상 분석

1. 바람

부산지방에 주로 부는 바람은 지형적 특성에 의하여 하절기에는 남서풍, 동절기에는 북서풍이며, 24시간 평균풍속은 3.8m/sec로 나타났으며, 조사기간 중 (1982~2001년) 최대풍속은 25.7m/sec로 풍향은 남남서로 1987년 7월에 나타났으며, 순간최대풍속은 1987년 8월에 DINAH 태풍통과시 43.0m/sec로 이 때의 풍향은 북동으로 관측되었다. <표 2-2>는 월별 풍속을 나타내며, <표 2-3>은 풍속이 10m/sec이상인 일수를 나타낸다.

<표 2-2> 월별 풍속

(단위 : m/sec)													
구분 \ 월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	전년
평균 풍속	3.8	4.0	4.2	4.2	3.8	3.5	4.1	3.9	3.7	3.4	3.5	3.7	3.8
최대 풍속	17.0	19.0	17.3	25.0	23.3	18.9	25.7	21.7	20.0	21.7	16.7	18.7	25.7
	NW	SSW	W	SW	SW	SW	SSW	SSE	SW	SSW	WSW	NW	SSW
순간 최대 풍속	28.5	27.4	28.1	29.9	27.5	28.2	42.3	43.0	38.0	30.3	31.6	29.0	43.0
	NW	NN W	WS W	SW	SSW	SW	SE	NE	N	SSW	W	NW	NE

자료 : 기상연보(1982~2001년), 기상청

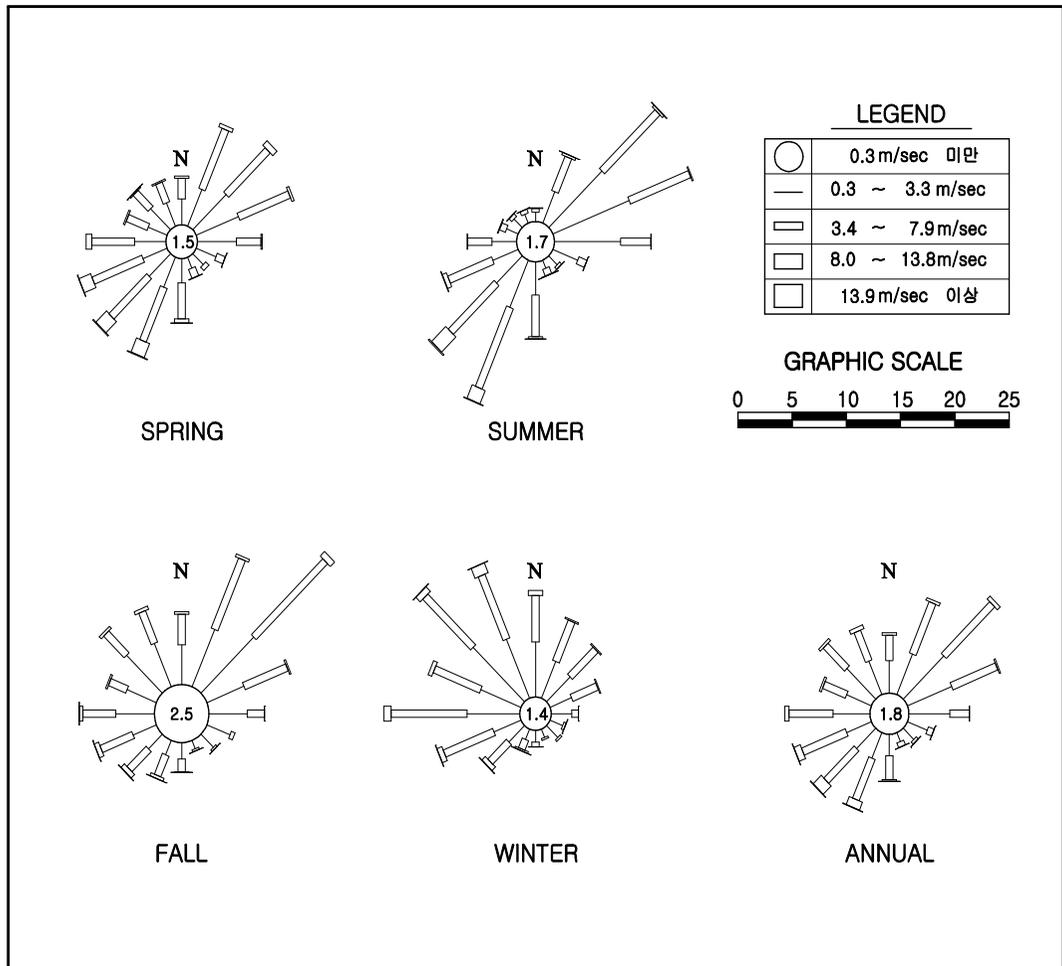
2007년 이후 기상이변이 속출하고 있어 순간최대풍속이 43m/sec 이상이 나타날 수 있음

<표 2-3> 풍속 10m/sec이상 일수

(단위 : 일)													
구분 \ 월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	전년
일수	8.1	6.3	7.9	7.2	5.2	3.4	5.9	4.6	3.6	3.9	5.6	7.1	68.8

12월부터 4월까지의 풍속이 상대적으로 높게 나타나는 날이 많음.

풍향별 관측회수 백분율은 부산지방기상청의 20년간(1978~1997년) 기상관측 자료를 이용하여 풍향별 풍속별 빈도율을 조사, 분석하였다. 풍향별 출현율은 북동방향이 11.4%로 가장 높고, 남남동방향이 1.3%로 가장 적게 나타났으며, 계절별 풍향은 동계에는 북서풍, 춘계에는 북북동풍, 추계에는 북북동, 북동풍이 우세하고 하계에는 남남서풍이 우세한 것으로 나타났다.



<그림 2-1> 바람장미도

바람장미도를 통해 동계에는 북서풍, 춘계에는 북북동풍, 추계에는 북북동, 북동풍이 우세하고 하계에는 남남서풍이 우세한 것을 알 수 있음.

2. 태풍

1904년부터 2004년까지 우리나라에 영향을 미친 태풍수의 수는 연평균 약 3개 정도이다. 태풍내습의 최다 월은 8월, 7월, 9월의 순이고, 이 석 달 동안에 내습한 태풍 수는 전체의 91%를 차지한다. 그러나 아주 드물게 6월과 10월에도 내습하는 경우가 있다.

<표 2-4> 우리나라에 영향을 미친 태풍수 (1904-2004년)

월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	합계	연평균
횟수	-	-	-	-	2	20	89	118	78	8	-	-	315	3.1

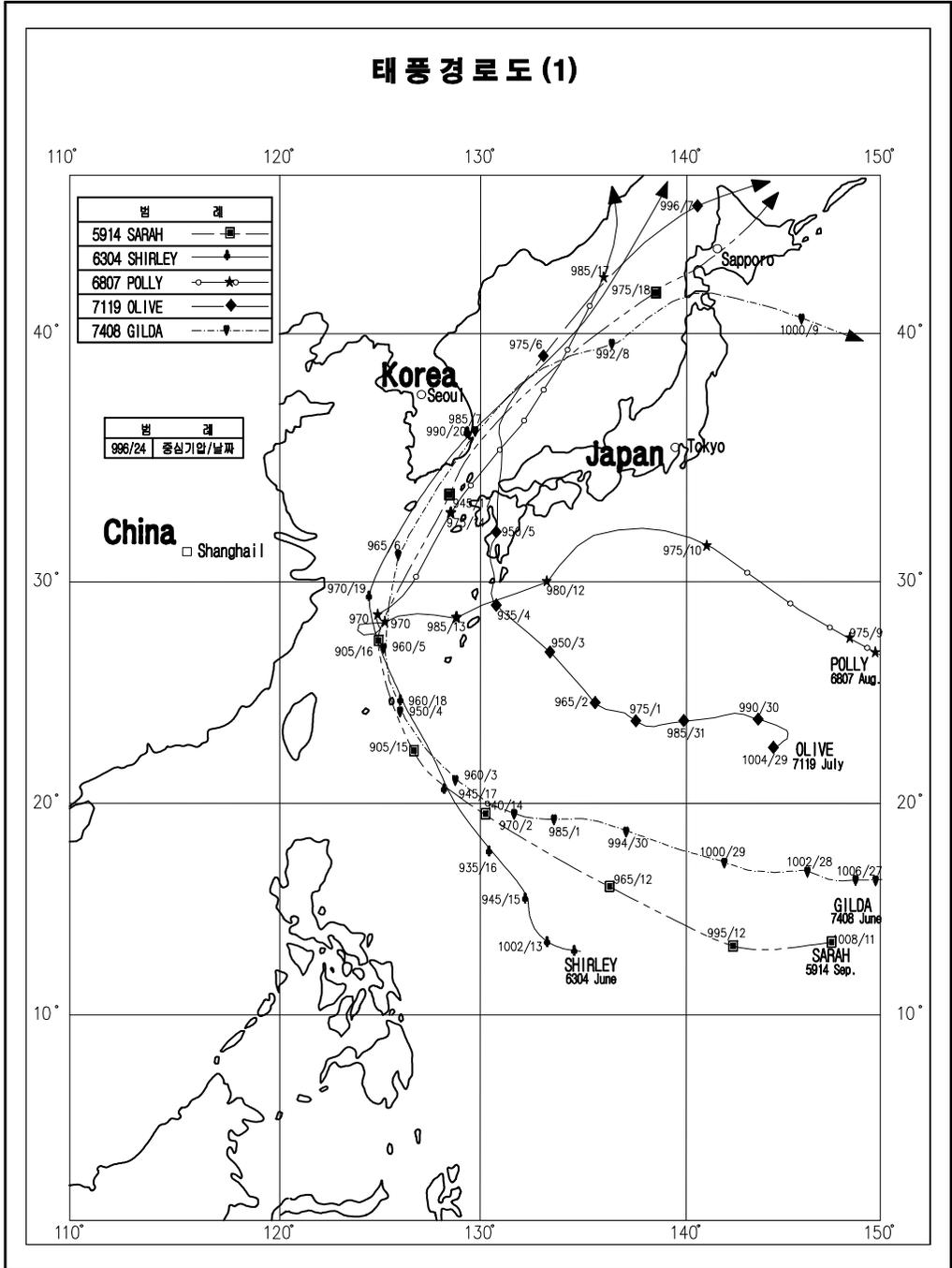
부산지방기상청에서 관측된 주요 태풍 중 부산지역에 가장 큰 피해를 주었던 태풍은 1959년 Sarah호, 1986년 Vera호와 1987년 Thelma호, 2003년 Maemi호이었다.

다음 태풍 경로도로 확인할 때 부산지방의 태풍의 영향은 태풍의 내습시 60%이상의 확률로 직간접의 영향권안에 들어있음을 알 수 있다. 이는 태풍의 내습시에는 공사 및 선박의 통항이 불가하다는 것을 의미한다. 또한 공사용 등 부표의 설계 및 시공시 최소 30m/sec이상의 풍속에서도 견딜 수 있도록 하여야함을 확인할 수 있다.

<표 2-5> 부산지방을 통과한 주요 태풍의 풍향과 풍속

(단위 : m/sec)					
태풍명	풍향	최대풍속	태풍명	풍향	최대풍속
WILDA	SSW	21.7	BRENDA	NE	12.3
ELLEN	ENE	26.7	NANCY	SSW	13.3
SARAH	ENE	34.7	ROGER	SSW	14.3
BETTY	SW	22.0	VERA	SSE	21.7
HELEN	S	17.2	THELMA	SSW	25.7
NORA	SW	30.0	DINAH	NE	18.0
OPAL	SW	22.6	JUDY	ENE	12.5
AMY	SW	16.5	ABE	SW	13.7
SHIRLEY	SSW	29.0	CAITLIN	ENE	18.0
HARRIET	SW	17.7	GLADYS	NNE	15.0
BETTY	SSW	19.0	MIREILLE	N	18.3
RUBY	SSW	19.7	ROBYN	NE	16.0
GILDA	ENE	18.3	DOUG	SSW	17.3
DOT	SSW	15.7	SETH	WNW	27.8
CARMEN	SW	20.0	SOUDELOR	N	13.0
IRVING	SSW	23.3	MAEMI	S	26.1
CLARA	SSW	15.7	MEGI	WSW	14.5
JUNE	SW	10.7	CHABA	NNE	11.0

안전통항방안 설계시 최소 30m/sec이상의 풍속에서도 견딜 수 있도록 하여야 함을 확인할 수 있다.



<그림 2-2> 태풍경로도(1)

태풍경로도를 통해 우리나라에 태풍이 내습 시 가덕수호가 직,간접 영향권에

들어갈 수 있는 태풍의 주요 길목임을 확인할 수 있다.

3. 안개

선박의 항행 및 항만운영에 있어서 가장 큰 영향을 주는 요소의 하나인 안개는 우리나라에서 비교적 자주 발생하나 남해안의 경우 서해안보다 그 빈도가 다소 적은 편이며, 부산지방기상청의 20년간(1982~2001년) 조사자료에 의하면 연간 안개발생일수는 16.6일로 주로 4~7월 사이에 발생한다.

<표 2-6> 월별 안개 발생일수

월 구분	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	전년
일수	0.1	0.7	0.8	1.7	3.1	4.4	5.1	0.6	0.2	0.1	0.2	0.0	16.6

자료) 기상연보(1982~2001년)

공사 중 선박의 안전항행을 위해서는 한시적으로 4월~7월에 무신호의 사용도 고려할 필요가 있음을 알 수 있다.

4. 기온

기상연보에 의한 최고기온은 36.7℃, 최저기온은 -11.8℃, 연평균기온은 14.7℃로 조사되었다.

<표 2-7> 월별 기온

(단위 :℃)														
월 구분	월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	전년
기온	평균	3.1	4.6	8.6	13.7	17.6	20.7	24.3	26.1	22.3	17.5	11.7	5.9	14.7
	평균 최고	7.8	9.6	13.4	18.3	21.9	24.3	27.5	29.6	26.3	22.4	16.6	10.7	19.0
	평균 최저	-0.6	0.8	4.9	9.9	14.2	17.8	22.0	23.5	19.5	13.9	7.9	2.0	11.3
	최고	17.5	20.3	22.9	28.1	29.9	30.1	35.8	36.7	35.2	29.1	25.1	20.4	36.7
	최저	-11.5	-11.8	-5.0	-1.0	8.0	11.9	14.5	18.4	10.6	1.8	-3.6	-8.0	-11.8

자료) 기상연보(1982~2001년)

5. 강수

부산지역의 연평균강수량은 1,495.5mm이고, 일최대강수량은 439mm로 8월에 최대강수량을 보이며, 10.0mm이상 강수일수는 35.9일에 이른다. 기상연보에 의하면, 연중 최대강수량은 1985년 2,200.5mm이고, 최소치는 1988년의 901.5mm로 나타났다.

<표 2-8> 강수량

(단위 : mm)													
구분 \ 월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	전년
월강수량	37.6	46.9	81.4	118.5	142.6	222.2	288.4	261.0	159.3	61.5	54.0	22.1	1,495.5
1일 최대강수량	51.0	55.0	52.4	77.4	200.4	157.3	197.5	439.0	246.5	122.4	173.0	78.6	439.0
1시간 최대강수량	8.0	13.9	13.7	27.0	34.0	44.8	73.0	84.6	86.7	37.6	24.6	6.2	86.7

주) 월별 강수량은 24시간 합계임

자료) 기상연보(1982~2001년), 기상청

6. 해면기압

부산지방기상청의 20년간(1982~2001년)의 월별 평균해면기압은 1015.7hPa이며, 최고기압은 1,039.9hPa(1994년 12월), 최저기압은 961.7hPa(1987년 8월)로 나타났다.

<표 2-9> 해면기압

(단위: hPa)														
구분 \ 월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	전년	
해면기압	평균	1022.3	1020.9	1019.0	1015.2	1011.8	1008.3	1007.6	1008.3	1013.0	1018.1	1021.6	1022.8	1015.7
	최고	1037.2	1034.7	1036.1	1031.7	1027.4	1020.8	1017.9	1018.9	1024.8	1031.7	1036.5	1039.9	1039.9
	최저	1002.9	998.6	988.2	994.6	991.5	988.1	974.8	961.7	984.6	988.5	1000.4	1002.3	961.7

자료) 기상연보(1982~2001년)

2.1.3 해상 현황

가덕수도 해역의 평균고조 간격은 8시간 18분 정도이며, 대조평균 고조위는 약 1.783m로 부산항보다는 약 0.5m 높다. 그러나 서해안 및 남해안 서부에 비하면 조차가 작은 편이다. 또한, 일조부등은 현저하지 않으며, 1일 2회 규칙적인 승강을 하고 최고고조가 하계에는 야간에, 동계에는 주간에 나타난다.

1. 파랑

가. 개요

가덕수도 해역은 남해안과 동해안의 일반적인 특성인 동절기 계절풍과 하절기 태풍에 의한 파랑의 영향을 크게 받는다.

<표 2-10>은 가덕수도에 있어서의 월별 파랑 현황(1979년~1998년의 20년 평균, 평균 유의파고)을 보인다. <표 2-13>에서의 파랑은 한국해양연구원에서의 천해파랑 자료로서 우리나라 총 14개 지역에 대하여 250~750m의 격자망을 구성하여 파고 및 주기를 각각 3개의 계급으로 구분하고, 22.5도의 간격으로 79개의 입사각에 대하여 SWAN모델을 사용하여 각 지역별로 산출하였다. 표에서 알 수 있듯이, 가덕수도에서의 평균유의파고는 그다지 높지 않으며, 수로 내측에서 외측보다 낮다. 그리고 6~7월에 높은 분포를 보인다.

20년간의 방향별 최대 유의파고를 살펴보면, 가덕수도 입구에서는 SSE, 5.0m(8월), 병산열도 동측에서는 S, 3.9m(8월), 신항만 방파제 부근에서는 S, 2.6m(8월), 저도 북동측에서는 SSE, 2.6m(8월)의 분포를 보였다. 최대 유의파고가 주로 S~SSE방향, 8월에 나타나는 것은 그것의 발생 원인이 주로 여름철에 내습하는 열대저기압(태풍)에 있다는 것을 의미한다.

<표 2-10> 가덕수도에서의 월별 평균 유의파고
(1979년~1998년 평균, 단위 : m)

월 지점	월												전년
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
북위 34.98도, 동경 128.81도 (가덕수도 입구)	1.22	0.31	0.37	0.43	0.44	0.64	0.68	0.58	0.40	0.26	0.23	0.21	0.40
북위 35.01도, 동경 128.79도 (병산열도 동측)	0.15	0.20	0.25	0.33	0.35	0.52	0.56	0.45	0.27	0.16	0.14	0.14	0.29
북위 35.04도, 동경 128.78도 (신항만 방파제 부근)	0.09	0.13	0.16	0.22	0.24	0.35	0.38	0.30	0.17	0.09	0.09	0.09	0.19
북위 35.03도, 동경 128.75도 (저도 북동측)	0.09	0.13	0.17	0.22	0.23	0.34	0.36	0.29	0.18	0.10	0.09	0.08	0.19

2. 조석

가. 개요

가덕수도의 조위는 단기간의 관측 및 분석 자료보다 신뢰도가 높은 해양수산부 산하의 국립해양조사원(구 건교부 수로국)에서 고시한 가덕도 천성만 내 No. 1 T.B.M 381.9cm(DL.)의 장기간(1978. 1. 1~12. 31) 관측자료를 기준으로 하였다.

이 해역의 조석은 조석형태수($F=(H'+H_o)/(H_m+H_s)$) 0.16~0.17을 갖는 반일주조형의 조석으로서, 일조부등이 적고 매일 거의 같은 두 만조와 두 간조가 일어난다. 일반적으로 조시의 부등은 간조시에 작으나, 고조의 부등은 만조시에 크고, 간조시에 작으며, 낮은 간조 다음에 높은 만조이다.

가덕도의 대조차는 166.0cm, 평균조차는 113.4cm이고, 소조차는 60.8cm이다. 이 해역의 대조평균고조위는 178.3cm로, 부산항의 122.3cm보다 56cm 정도 높으나 우리나라의 서해안 및 남해 서부에 비해 조차가 작은 편이다.

나. 가덕도지역의 조위(구 건교부 수로국 관측)

가덕도 지역의 조화상수 및 비조화상수는 국립해양조사원에서 고시된 자료를 조사하였으며, 그 내용은 <표 2-11>와 같다. 대조차는 166.0cm이고 평균조차는 113.4cm, 소조차는 60.8cm이다. 대조평균 만조위는 178.3cm로 부산항보다 56cm 정도 높으나 우리나라 서해안 및 남해 서부에 비하여 조차가 작은 편이다.

<표 2-11> 가덕도지역의 조화상수 및 비조화상수

조화상수				약최고 만조위	대조평균 만조위	평균 만조위	소조평균 만조위
M2(H m)	S2(Hs)	K1(Ho)	O1(Ho)	App.H.H. W	H.W.O.S. T	H.W.O.M. T	H.W.O.N. T
56.7	26.3	8.0	4.3	190.6cm	178.3cm	152.0cm	125.7cm
평균 해면 M.S.L	소조평균 간조면 L.W.O.N .T	평균 저조위 L.W.O. M.T	대조평균 저조위 L.W.O.S. T	대조차	평균조차	소조차	평균 만조간격
95.3cm	64.9cm	38.6cm	12.3cm	166.0cm	113.4cm	60.8cm	8.18cm

주) 관측지점 : N35°01' 00", E128°49' 00"

자료) 해양수산부 국립해양조사원 고시자료

3. 조류

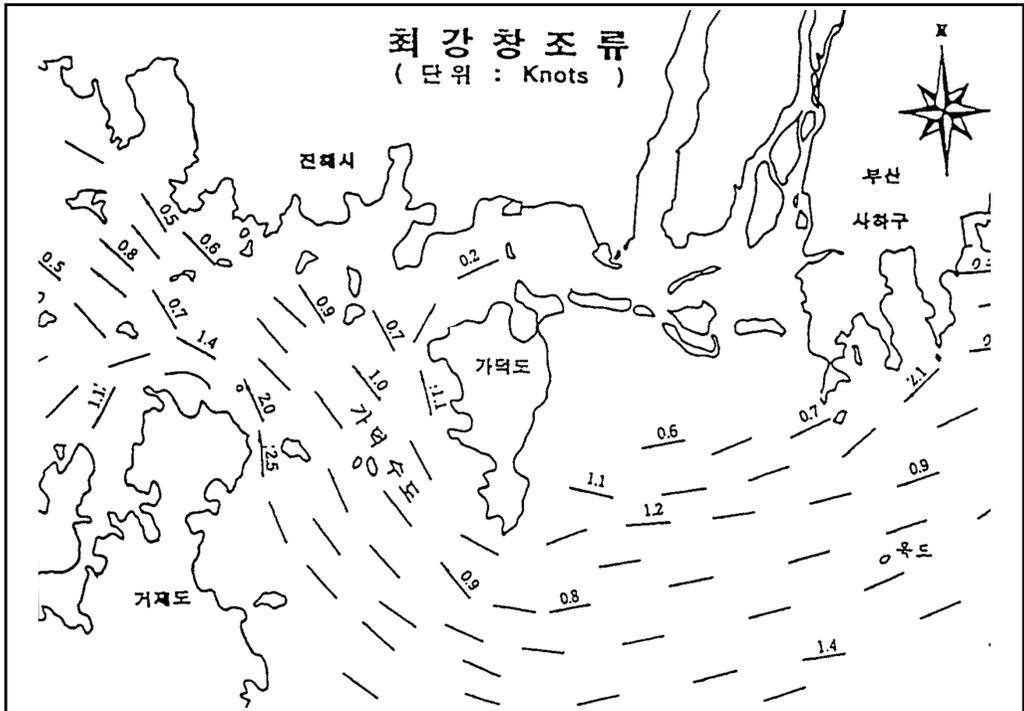
국립해양조사원에서 발행한 조류도의 가덕도 주변 해역 창·낙조시의 최강유속은 0.1~1.1m/sec 정도이고, 부산(가덕)신항만 개발 기본계획 용역(해양수산부, 1996년 12월)시 현지의 3개소에서 연속 조류관측을 수행한 결과(1995년 7월~8월), 평균대조시에 0.2~0.74m/sec로 나타났다(<표 2-12> 참조).

<표 2-12> 가덕도 부근의 조류 특성

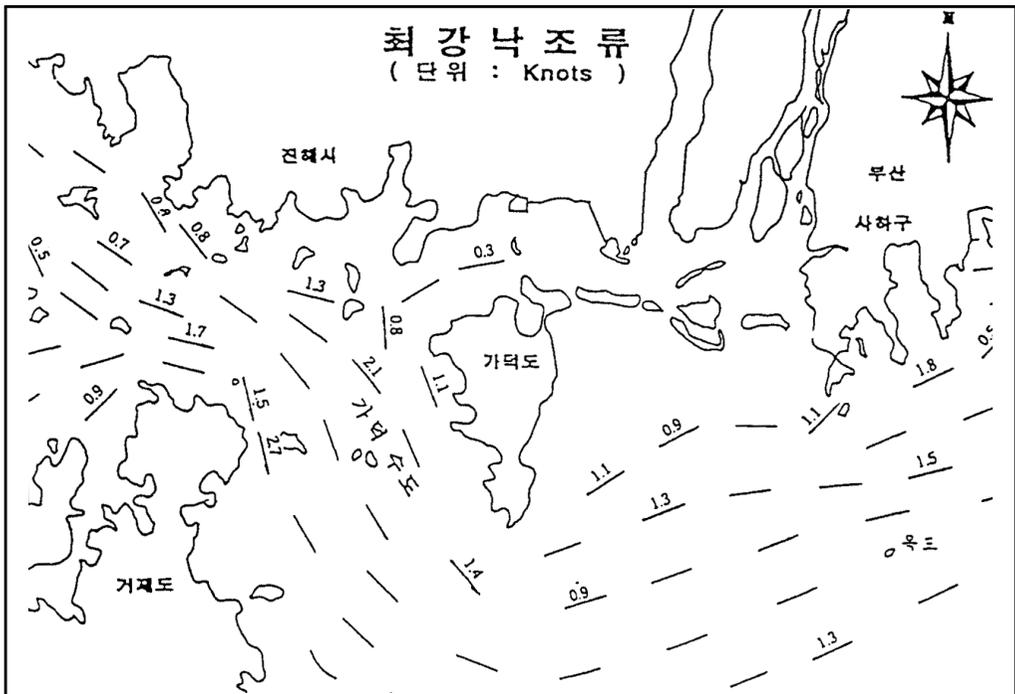
구분	전류시	최강류시	최강유속(평균대조기)	
			유향	유속
창조류	간조 후	간조 후	WNW	26~66cm/sec
	-0.3~0.0hr	2.8~3.1hr		
낙조류	만조 후	만조 후	SE	20~27cm/sec
	-0.1~0.3hr	2.8~3.0hr		

부산신항 방파제 실시설계 용역(해양수산부, 1997년 7월)시에 시행된 관측치와 해수유동 수치모형실험 결과는 다음과 같다.

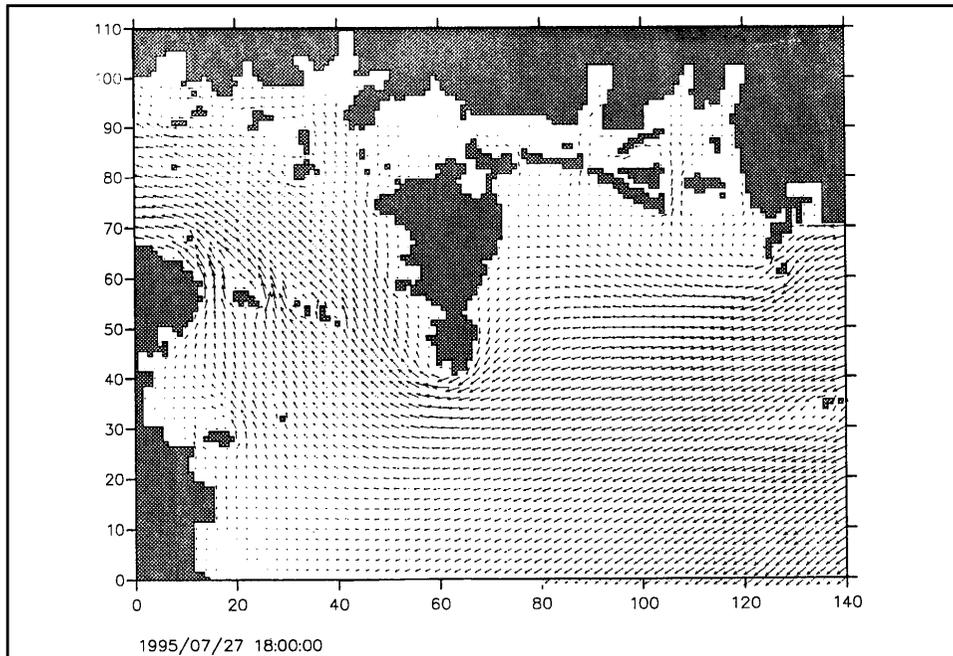
창조시는 동에서 서측 방향으로 흐르고, 가덕도 서측에서는 마산·진해만으로 향하는 북서방향류가 주류를 이루며, 낙조시 흐름은 창조시와 대체로 반대방향의 흐름패턴을 보인다. 또한, 부산 신항이 개발된 후의 해수유동 변화는 <그림 2-3> ~ <그림 2-8>와 같다. 결과에 의하면, 신항만의 개발로 인한 가덕도 협수로 동측에서의 유속 감소가 예측되나, 가덕도 인근 해역의 전체적인 흐름패턴 및 해수유통량의 변화는 거의 없다. 특히, 진해·마산만 입구 단면수로의 해수유통량 변화는 무시할 정도로 작기 때문에 신항만의 개발에 따른 진해·마산만의 해수유동 특성에는 변화가 없을 것으로 판단된다.



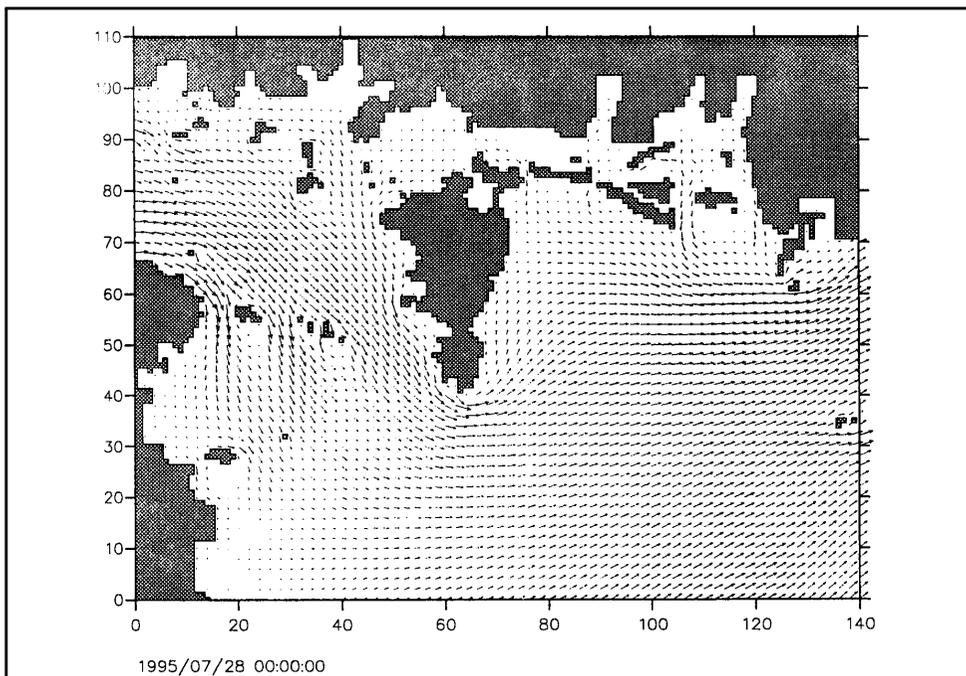
<그림 2-3> 최강 창조류



<그림 2-4> 최강 낙조류



<그림 2-5> 대표 창조류시 세부역의 유속장(현상태, 1995. 7. 27, 18:00)



<그림 2-6> 대표 낙조류시 세부역의 유속장(1995. 7. 28, 00:00)

2.2 부산-거제간 연결도로 건설사업 계획

2.2.1 사업의 목적

1. 개요

건설사업은 국가지원지방도 58호선으로서 부산~거제간 연결도로 건설사업 중 경상남도 거제시 장목면 유호리와 부산광역시 강서구 천성동 가덕도를 교량과 해저터널로 연결하는 구간으로 거제시 관광수요의 처리, 부산신항만 및 주변공업단지에서 발생하는 산업물동량을 지역 교통망에 연결하여 원활한 수송을 도모하는 역할을 담당할 것이며, 주변개발의 촉진을 도모하고 또한 부산서남부 및 거제시 주변의 교통취약지역의 도로망을 확충함으로써 부산·경남 광역권의 교통 혼잡 해소에 기여하는 주요도로로서의 기능을 수행할 것이다.

2. 추진배경

국토 동남부의 동남해안공업벨트에 위치한 부산·경남 광역권은 우리나라 제2의 대도시권이며 태평양지역과 유라시아 대륙을 연결하는 관문으로 정치·경제·사회·문화 등 다방면에서 매우 중요한 지역으로서 정부에서는 「제3차 국토종합개발계획」에서 이 지역을 국제교역과 금융기능 및 21세기 환태평양지역의 중추기능을 강화하도록 구상하고 그 추진전략으로 동서 9축, 목포~부산 간 선도로망 설치와 사회간접자본을 대폭 확충하는 등 도시개발사업에 역점을 두고 민간자본을 적극 유치하여 건설하는 방안을 제시하였으며, 또한 1994년 12월 건설교통부 「부산·경남권 광역개발계획」(건교부 고시 제94-43호)에서 개방경제시대에 급증하는 항만물동량 처리를 위하여 경남 진해 및 서부산 일원에 컨테이너 중심의 대규모 신항만 건설 및 거제도 조선사업과 녹산국가공단, 신호지방공단, 부산신항의 물류기능 등을 연계시키기 위하여 부산시 가덕도를 경유하여 경남 거제도를 연결하는 연육교 건설계획을 제시하였다.

따라서 재정경제원에서는 원활한 산업물동량 수송으로 부산·경남 광역권의 생산성 극대화 및 남해고속도로의 만성적인 교통체증해소와 지역균형개발 촉진을 위하여 1995년 민자유치대상사업으로 선정(재경원 고시 제1995-5호)하고 민자유치심의위원회 심의를 거쳐 확정 고시함에 따라 민자사업으로서 첫발을 내딛게 되었다.

3. 건설효과

통행비용이 연간 4,000억원 절감될 것으로 예상되며, 부산에서 거제 간이 80km가 단축됨으로서 시간적으로 1시간 30분 단축되는 효과가 있다. 서울에서 부산 간으로 따지면 약 40분정도가 단축된다. U자형의 고속도로망 구축으로 국가경쟁력 강화 효과가 있으며 선진 설계 및 시공기술, 운영기법 도입으로 연간 200 만 명의 대규모 고용창출 및 지역개발 효과가 있을 것으로 예상된다.

2.2.2 사업 계획

1. 노선명

- 국가 지원 지방도 58호선 (나주~부산)

2. 사업범위

- 시 점 : 경남 거제시 장목면 유흥리 (거제도)
- 종 점 : 부산광역시 천성동 (가덕도)
- 연 장 : L = 8.2km, 왕복4차로

3. 사업기간

- 공사방법 : Fast Track 방식(구간별 실시설계 완료 후 시공하는 방법)
- 공사기간 : 2004. ~ 2010. (72개월)
- 운영기간 : 2010. ~ 2050. (40년)

4. 사업의 규모

구 분		연 장 (m)	폭 원 (m)	비 고
총연장		8205.808		
교 량	접속 1교	458.5(460.50)	20.50	왕복4차로
	부예비항로교	676.0(679.0)	22.0	왕복4차로
	접속 2교	510.0(512.0)	20.5	왕복4차로
	접속 3교	330.0(332.0)	20.50	왕복4차로
	주예비항로교	919.0(922.0)	24.0	3/2차로
	접속4교	610.0(612.0)	12.25/10.25	3/2차로
	저도교	220	20.78	왕복4차로
터 널	침매	3665.729	26.50/28.50	왕복4차로
	저도	274.000	17.50	왕복4차로
	중축	281.319	11.50/9.50	3/2차로
도로	토공	287.260	19.50	왕복4차로

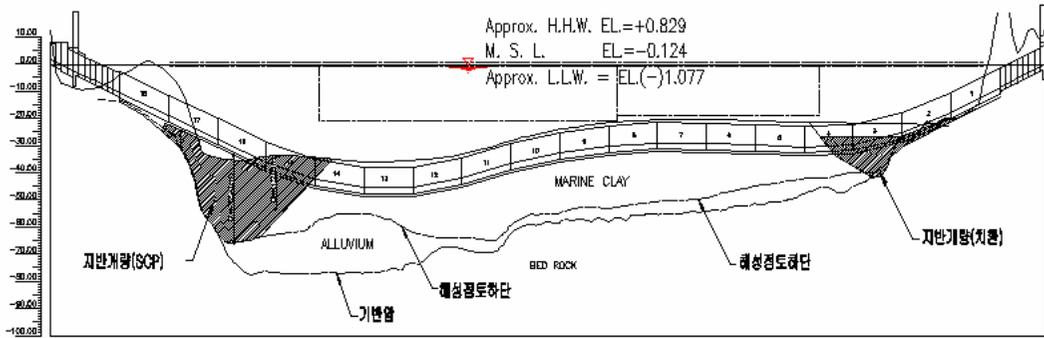
※()수치는 Anchor Pier의 교량받침 중심까지의 거리임.

2.2.3 침매터널 시공법

1. 침매터널 소개

1894년 세계 최초의 침매터널이 보스턴 Shirley Gut siphon(수로)에서 건설된 이래 일본 하네다터널, 홍콩 크로스 리버 터널 등 세계 여러 나라에서 약 120개의 침매터널을 시공하였다. 부산-거제 간 연결도로 건설공사에서는 약 8.2km 구간을 우리나라 최초로 침매터널 공법을 사용하여 시공하였다. 부산-거제간 연결도로는 침매터널은 수심 25~40m 라는 환경적 제약 속에서 건설되는 우리나라 최초의 시도이다.

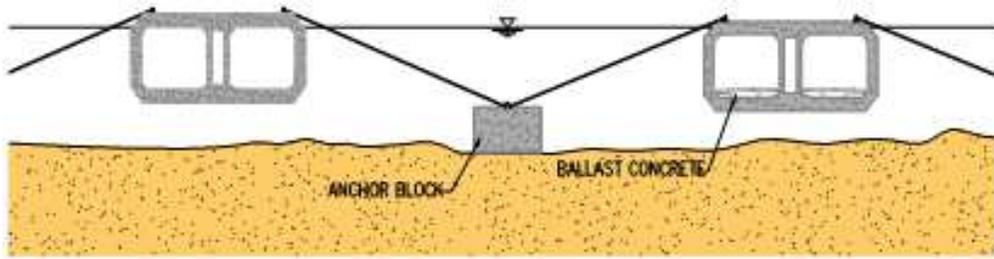
침매터널이란 해저에 미리 트렌치를 굴착한 후 육상의 별도의 제작장에서 적당한 길이로 나누어 제작한 터널 합체(Element)를 시공하고자 하는 장소까지 물에 띄어서 운반한 후 순차적으로 침설, 되메어 만든 터널을 말한다. 아래 그림<2-7>에서 그림<2-13>를 통해 침매터널의 개념 및 순서를 나타내었다.



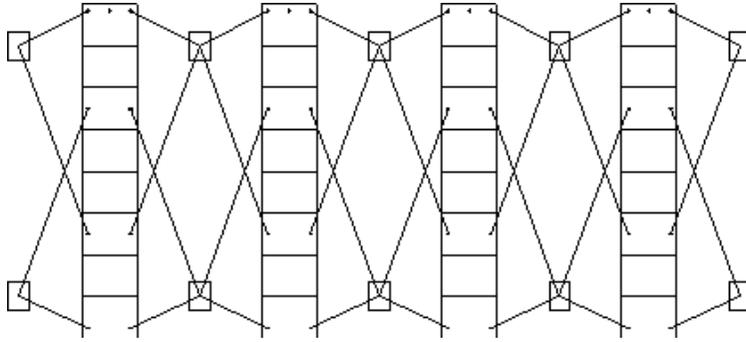
<그림 2-7> 침매터널 종단면도



<그림 2-8> 합체(Element) 해상이동장면



<그림 2-9> 임시계류 단면도

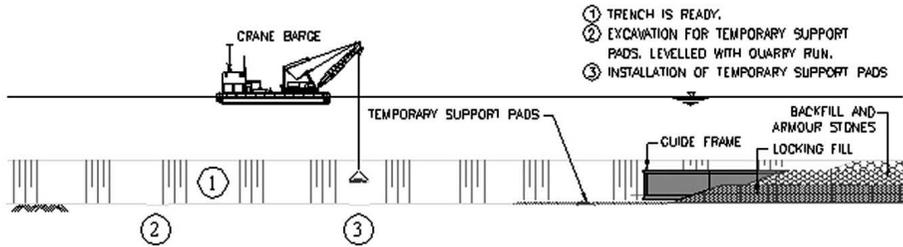


<그림 2-10> 계류 배치도

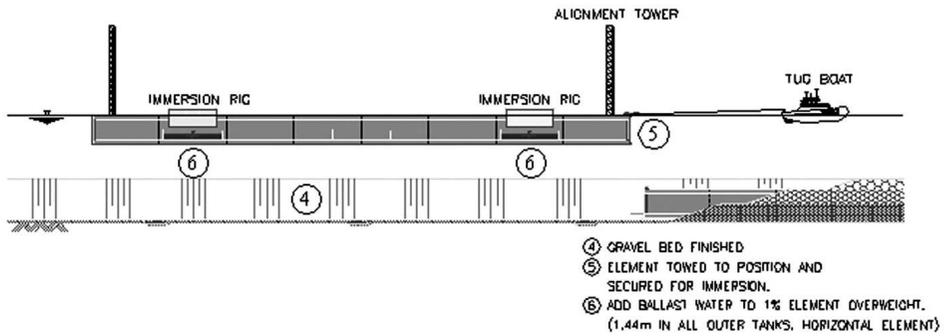


<그림 2-11> 위치조정 장면

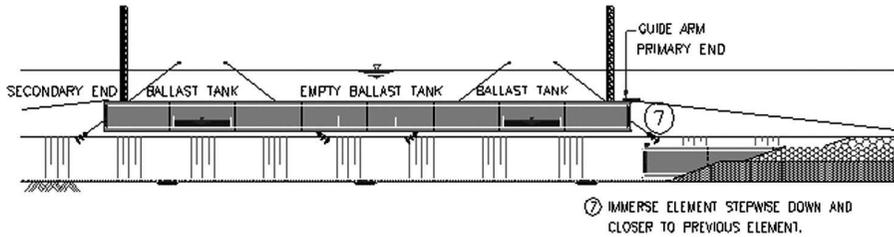
1. PREPARATION



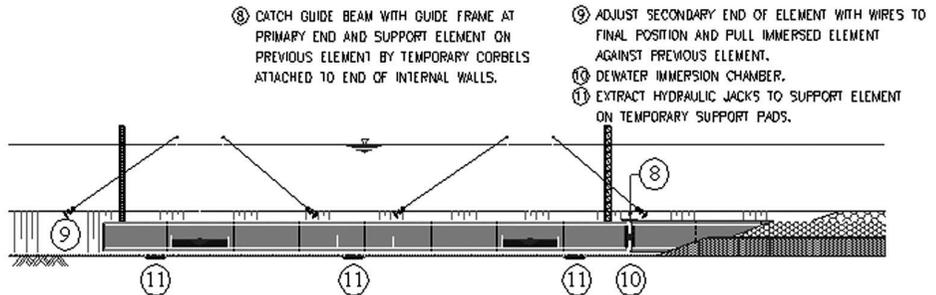
2. ELEMENT TOWED TO POSITION



3. IMMERSION



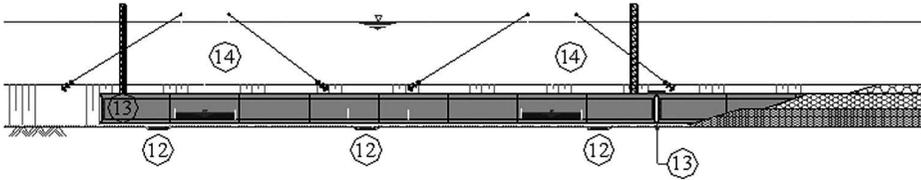
4. DEWATER IMMERSION CHAMBER



<그림 2-12> 시공순서도1

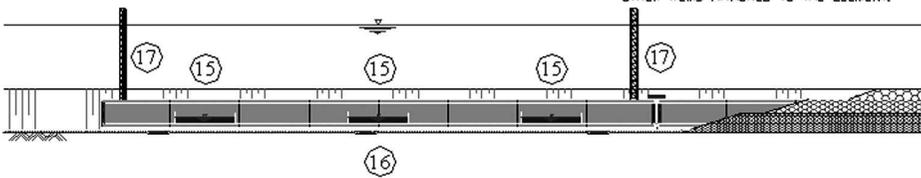
5. ADJUST ELEMENT TO FINAL POSITION

- ⑫ CHECK AND ADJUST VERTICAL POSITION OF SECONDARY END OF ELEMENT BY VERTICAL JACKS.
- ⑬ CHECK AND ADJUST HORIZONTAL POSITION OF SECONDARY END BY JACKS IN IMMERSION CHAMBER
- ⑭ LIFT ELEMENT IF NECESSARY DURING ADJUSTMENT IN 13 NOT TO SLIDE SIDWAYS ON THE HYDRAULIC JACKS



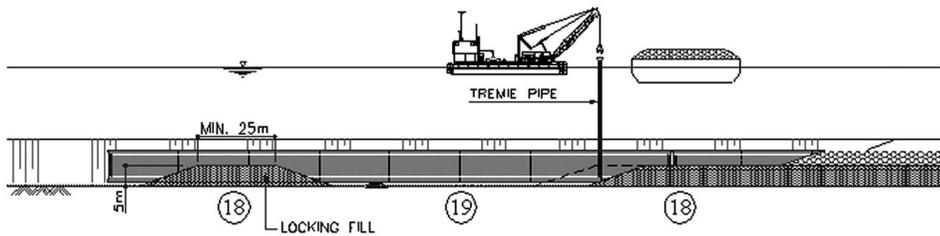
6. BALLASTING FOR SWELL WAVES

- ⑮ ADD BALLAST WATER TO 6% ELEMENT OVERWEIGHT (3.94m AVERAGE IN EACH OF THE 6 TANKS, MAX. 4.53m AT SLOPE 5.204% OF ELEMENT.)
- ⑯ FILL GROUT BAGS FOR FAST INSTALLATION OF CENTRAL FOUNDATION SUPPORT AS REPLACEMENT FOR CENTRAL JACKS.
- ⑰ REMOVE IMMERSION RIGS, WIRES, TOWERS AND OTHER ITEMS ATTACHED TO THE ELEMENT.



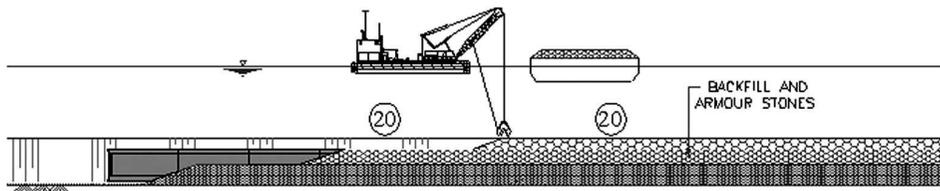
7. START PLACING LOCKING FILL

- ⑱ PLACE LOCKING FILL STARTING AT THE CORNERS USING CRANE BARCES.
- ⑲ CONSTRUCT GROUT BETWEEN ELEMENT BOTTOM AND GRAVEL BED.



8. BACKFILL ON ROOF

- ⑳ PLACE BACKFILL FOLLOWED BY ARMOUR STONES



<그림 2-13> 시공순서도2

자료 : “부산-거제간 연결도로 침매터널 설계와 시공”, 유신기술회보 제13호

2.2.3 준설작업 계획

1. 준설선의 제원

침매터널을 설치하기 위해서는 가덕수도 항로를 횡단하면서 준설공사를 수행해야하며 이 때 투입되는 준설선의 제원은 다음과 같다.

- Trailing suction hopper dredger
- Gross tonnage: 18,091ton
- Length overall: 156m



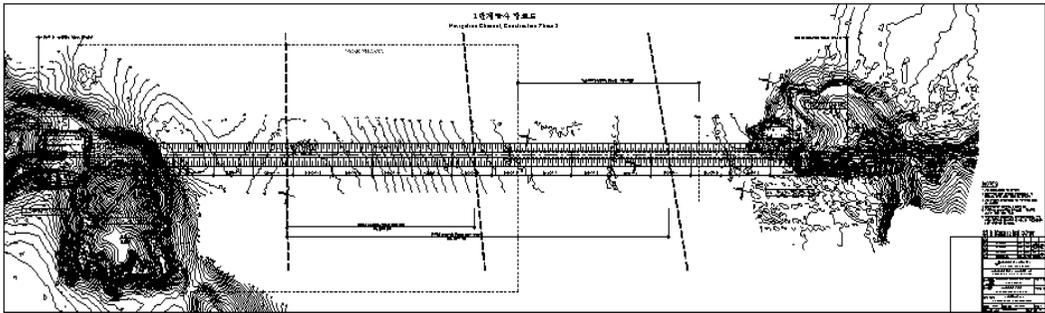
<그림 2-14> Trailing suction hopper dredger의 준설공사도

- Speed: 3~4kts
- Breadth: 28m

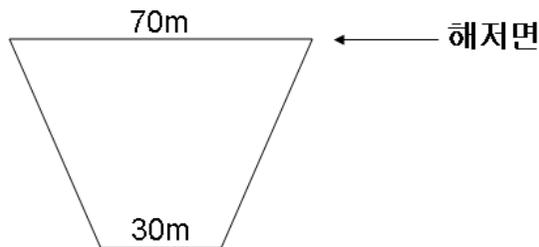
2. 준설작업 수행계획

준설작업을 수행하는 계획은 다음과 같고, 준설기간 및 준설폭의 횡단면은 <그림 2-15>, <그림 2-16>과 같다.

- 가. 준설작업 1회의 주기: 준설작업실시 → 투기장으로 이동 → 투하 → 준설구간으로 이동
- 나. 준설작업시 이동속도: 3~4kts
- 다. 적재후 이동속도: 12~15kts
- 라. 준설구간과 투기장간 거리: 약 30,000m



<그림 2-15> 준설구간



<그림 2-16> 준설폭의 횡단면도

제3장 해상교통환경

3.1 해상교통의 개요

3.1.1 해상교통조사의 목적

교통조사 및 분석은 일정 해역의 교통상황을 조사하여 그 자료를 수집하고 분석하여 예측하는 과정이다. 일정 해역의 항로는 오랜 세월에 걸쳐 크기와 성능이 비슷한 선박이 통항하는 길로써 자연스럽게 항로가 형성되어 왔다. 이러한 항로의 교통실태조사를 실시하는 목적은 해상교통안전을 평가하기 위한 기초 자료를 얻는 것이다. 그리고 해상교통연구에 필요한 기본적인 데이터수집이 교통실태관측에 의해 얻어진다.

3.1.2 해상교통조사의 의의

1. 교통량 현황파악

국내에서 교통량의 추이를 파악하는 자료로는 해운·항만·수산 분야의 주요 통계자료를 정리·수록한 「해양수산통계연보」가 있는데, 이 자료는 선박입·출항통계, 여객수송통계, 화물수송통계, 컨테이너수송통계, 선박통계, 선원통계, 항만시설통계 등을 정리·수록한 통계자료이다. 교통량으로는 각 항구별로 국적외항선, 외국외항선 및 연안선박의 톤수와 척수 통계가 정리·수록되어 있다. 항로부근의 예선 및 각종 어선과 같은 소형선은 출·입구가 일정치 않기 때문에 이 통계로써 측정해역의 교통량을 추정하는 것은 어렵다. 어느 해역의 교통량은 시간별로 변동하고, 상당한 규칙성을 보이는 것이 일반적이다. 이러한 자료들은 항적의 분포현상을 파악할 수 있을 뿐만 아니라 항로에서의 건설공사를 위한 항로점유의 범위정도를 산정하는 데에도 귀중한 자료가 된다.

2. 선박의 행동

교통량과 항적관측은 해상교통전용 조사장비의 운용과 목시 관측을 통해 원하는 자료를 수집하여 분석한다. 선박과 선박 또는 선박과 장애물과의 상호작

용은 피항 개시거리, 피항각, 최접근거리 또는 피항영역 등의 특성치로 표현할 수 있다. 이들은 확률변수로써 피항선박의 항적, 상대위치 등으로부터 특성치를 추출하고 통계처리에 의해 그 평균치와 분산을 구할 수 있다. 그리고 이런 특성치의 분포로부터 수로의 교통용량을 계산하고, 충돌의 위험도를 이론적으로 평가한다.

3. 장래예측

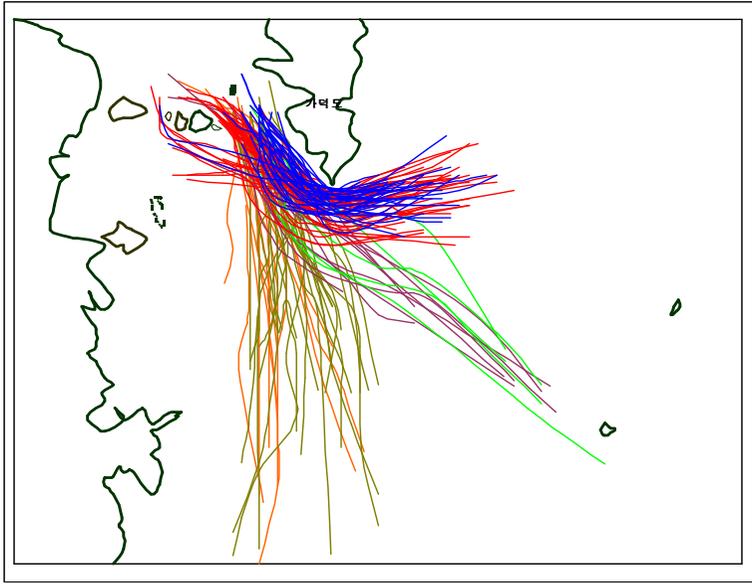
선박의 크기 및 성능이 급속하게 발달하지만 항로나 항만의 발전이 이에 대응하지 못하고 있다. 따라서 교통실태를 관측하여 선박크기, 선종별로 구분하여 선박의 증감을 추정하고 장래의 해상교통량을 예측하는 것이 필요하다. 교통실태를 장기간 관측하거나 또는 정밀히 관찰하여 규칙성을 찾아내고 교통상황을 나타내는 적합한 모델을 만들어 장래를 예측한다면 정확도가 높아질 뿐만 아니라 항로일부를 점유하는 건설공사로 인한 안전통항방안 등의 대책에 대한 사전 평가가 가능하게 된다.

3.1.3 가덕수도 해역의 교통항적도

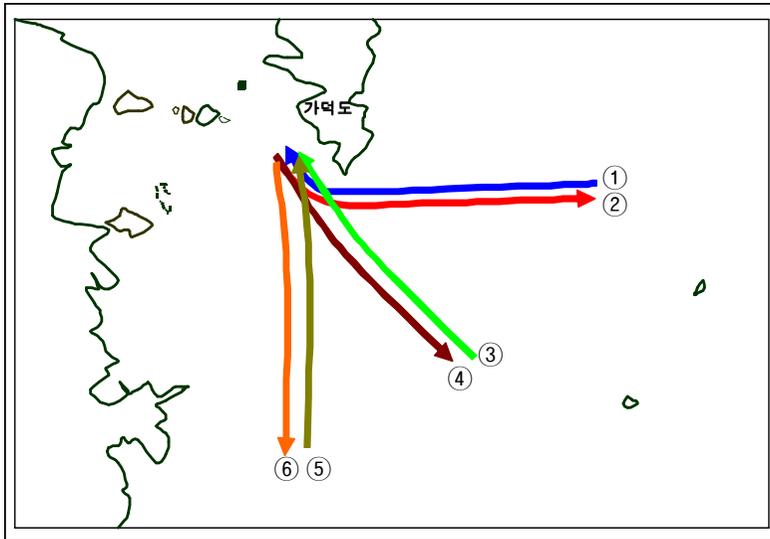
1. 교통항적도

항로점유로 인한 통항안전방안을 설계하기 위해서는 사전에 해상교통조사를 실시하여 교통특성을 파악해야만 한다. 즉, 선박의 통항패턴, 진행방향 및 속력 등을 분석하여 임시항로의 설정과 공사부표 등의 위치를 설계할 수 있다. 이번 교통량 조사는 연구기간의 시간적 제약으로 인하여 기존 “부산 신항 항로표지 배치 및 실시설계 연구용역(2003.12)”의 교통조사내용 중에서 가덕수도와 직접 관련 있는 부분을 분석, 정리하였다.

<그림 3-1>은 관측된 모든 선박의 항적을 나타내고 있다. 모든 통항선박의 항적도를 작성하여 비교한 결과 통항하는 선박의 OD는 부산-가덕도 양방향, 일본-가덕도 양방향, 남해안-가덕도 양방향으로 크게 6가지로 구분 할 수 있었다. 이들 방향에 대한 선박의 항적도는 다음과 같다.



<그림 3-1> 전체 통항선박 항적도

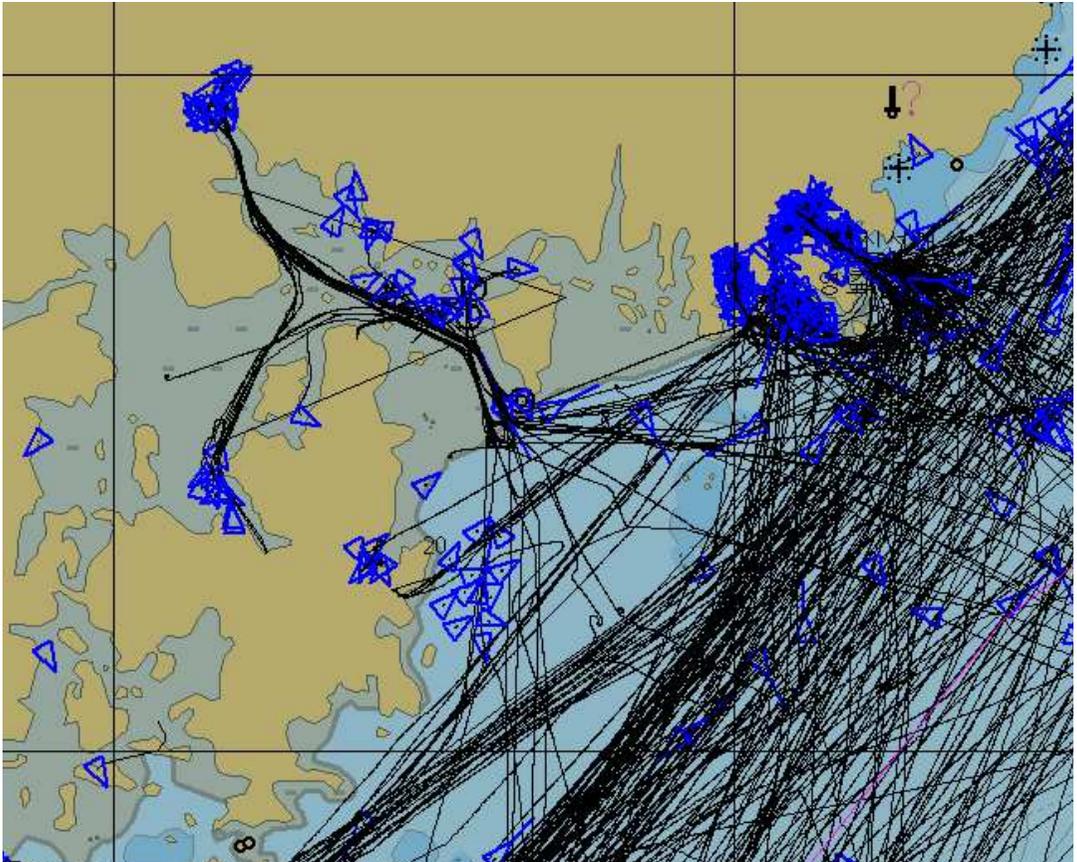


<그림 3-2> 통항경로대별 항적도

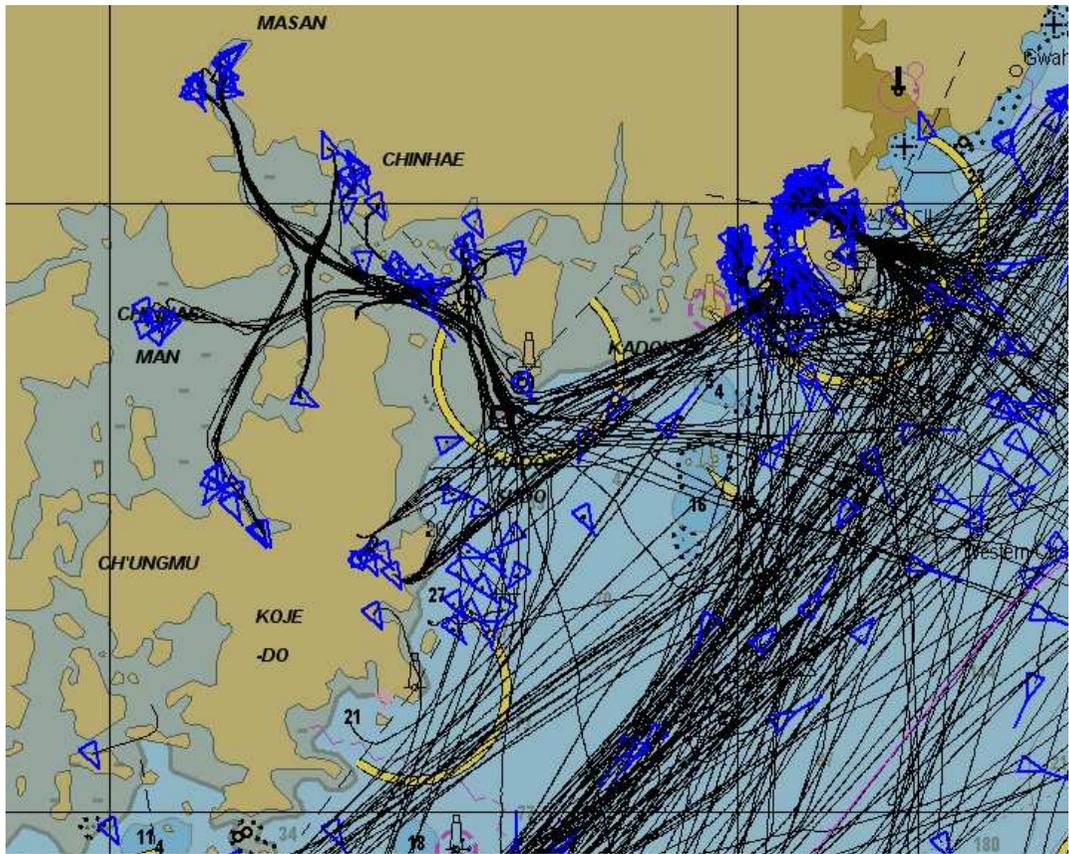
①경로대는 부산에서 가덕수도 방향, ②경로대는 가덕수도에서 부산방향, ③ 경로대는 일본에서 가덕수도 방향, ④경로대는 가덕수도에서 일본방향, ⑤경로 대는 남해안에서 가덕수도 방향, ⑥경로대는 가덕수도에서 남해안 방향으로 선 박의 항적을 나눌 수 있다.

2. 가덕도 주변 해역에서의 AIS 항적

2006년 8월에 관측한 AIS항적 중에서 27일부터 29일까지의 항적도는 <그림 3-3>과 같다. 이는 이전의 선박항적과 유사한 양상임을 확인할 수 있었다. 이외의 8월 중 AIS항적도는 <그림 3-4> 와 같다.



<그림 3-3> 가덕도 주변해역 AIS 항적(2006.8.27-29)



<그림 3-4> 가덕도 주변해역 AIS 항적(2006.8)

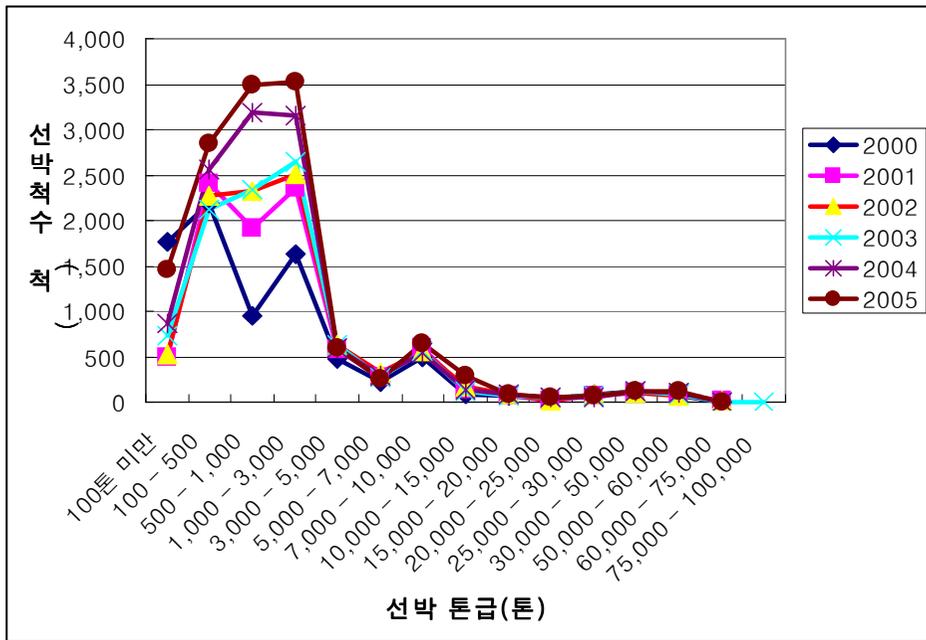
3.2 해상교통 혼잡도 평가

3.2.1 해상교통량 추정

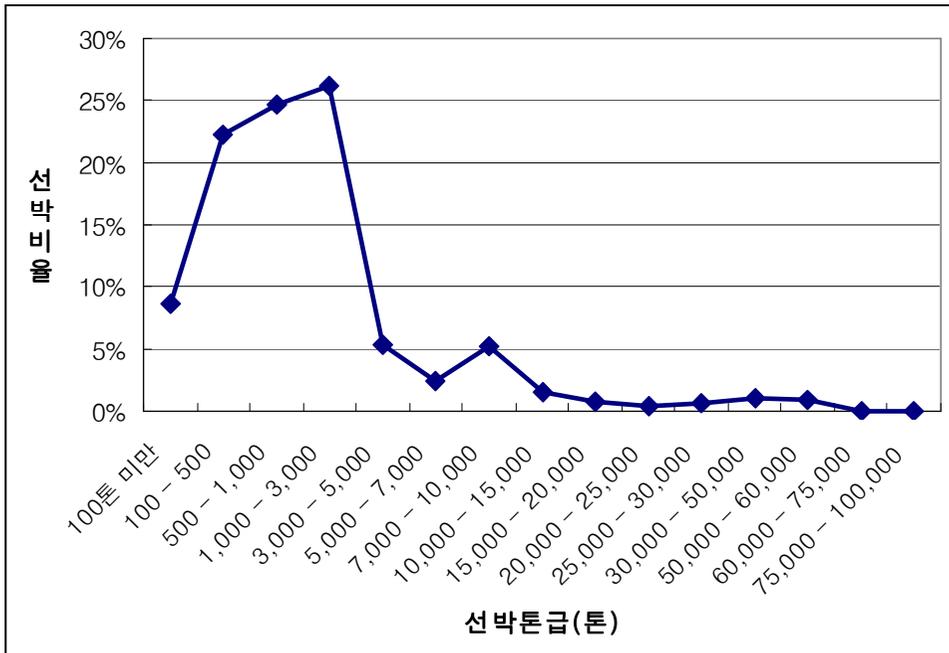
1. 일반 화물선 교통량 추정

1) 기존의 일반 화물선 교통량 분석

해양수산부에서 제공하는 PORT-MIS의 입항 선박 톤급별 선박 입·출항 통계에서 마산, 진해 및 고현항을 입항한 교통량은 2000년 8,178척에서 2005년 13,547척으로 증가하였다. 또한 과거 6년간의 교통량을 톤급별로 구분하여 비율을 보면 <그림 3-4>과 같이 전체적으로 각 연도별 톤급별 비율이 비슷하다. 따라서 일반 화물선의 톤급별 예상비율은 <그림 3-5>과 <표 3-1>과 같이 2000년부터 2005년까지의 상기 항들을 입항한 선박척수를 토대로 가중산술평균을 이용하여 산출하였다. 최근 2005년 자료에 가중치 6을 적용하고 이와 같이 순차적으로 하여 최종 2000년 자료에 가중치 1을 적용하였다. 따라서 1,000~3,000톤급의 입항선박 비율은 26.13%로 가장 높은 비중을 보였으며, 75,000~100,000톤급은 단지 0.01%로 가장 낮은 비율을 보였다.



<그림 3-5> 연도별 톤급별 선박척수



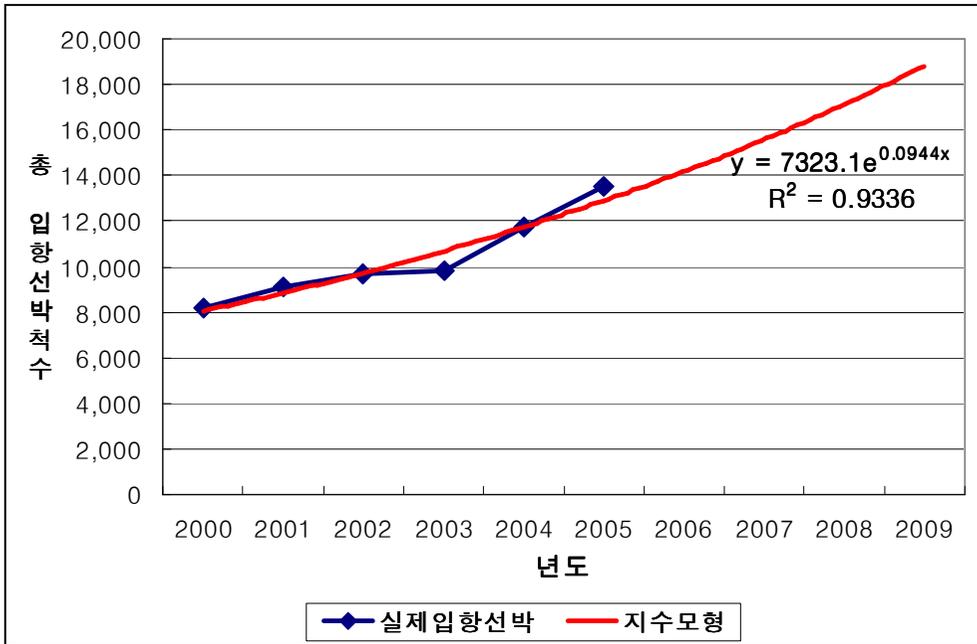
<그림 3-6> 톤급별 선박비율

<표 3-1> 연도별 톤급별 선박비율

연도 총톤수(GT)	2000	2001	2002	2003	2004	2005	가중평 균 비율(%)
전체	8,178	9,092	9,669	9,787	11,744	13,547	100.00
100톤 미만	1,765	495	519	736	867	1,456	8.66
100~500	2,185	2,413	2,270	2,111	2,566	2,853	22.25
500~1000	943	1,909	2,322	2,335	3,192	3,496	24.72
1,000~3,000	1,623	2,360	2,507	2,636	3,151	3,524	26.13
3,000~5,000	482	578	626	633	587	593	5.35
5,000~7,000	222	272	322	267	292	247	2.45
7,000~10,000	486	599	560	558	536	650	5.19
10,000~15,000	88	129	177	121	129	282	1.58
15000~20,000	70	64	85	71	89	92	0.74
20,000~25,000	37	25	22	43	59	52	0.40
25,000~30,000	77	61	88	72	54	66	0.61
30,000~50,000	121	96	101	118	113	114	1.00
50,000~60,000	73	79	60	81	105	117	0.84
60,000~75,000	6	12	10	4	4	5	0.05
75,000~100,000	0	0	0	1	0	0	0.01

2) 장래의 일반 화물선 교통량 추정

PORT-MIS의 마산, 진해 및 고현항에 입항하는 선박 교통량을 기초로 가덕수도로 통항하는 교통량을 추정하였다. 과거 6년간의 교통량에 대한 추세를 반영하는 통계모형을 적합시켜 부산-거제간 침매터널 공사기간인 2006년부터 2009년까지의 일반 화물선의 예상된 교통량은 <그림 3-7>, <표 3-2>과 같다. 예상 교통량은 2006년 14,181척, 2009년 18,823척으로 나타났다. 적용된 통계모형은 지수모형이고, 결정계수값은 0.9336으로 대체로 추세를 잘 반영하는 것으로 판단되었다.



<그림 3-7> 일반화학물의 예상교통량

<표 3-2> 일반화학물의 예상교통량

연도 \ 교통량(척)	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
실제	8,178	9,092	9,669	9,787	11,744	13,547	-	-	-	-
모형	8,049	8,845	9,721	10,683	11,741	12,903	14,181	15,584	17,127	18,823

위의 모형으로 추정된 일반 화물선의 톤급별 척수는 <표 3-3>와 같다. 교통량의 일일주기의 변동을 고려하기 위하여 06:00~18:00 사이의 12시간 교통량비중, 1일 교통량에 대한 주간비율과 야간비율을 각각 0.6, 0.4로 설정하였다.

<표 3-3> 일반 화물선의 톤급별 척수

연도 총톤수(GT)	가중평균 비율(%)	2006		2007		2008		2009	
		주간	야간	주간	야간	주간	야간	주간	야간
전체	100.00	14,181		15,584		17,127		18,823	
		8,509	5,672	9,351	6,233	10,277	6,850	11,294	7,529
100톤 미만	8.66	738	491	810	540	891	593	979	652
100~500	22.25	1,894	1,262	2,081	1,387	2,287	1,524	2,514	1,675
500~1000	24.72	2,104	1,402	2,312	1,541	2,541	1,693	2,793	1,861
1,000~3,000	26.13	2,224	1,482	2,444	1,629	2,686	1,790	2,952	1,967
3,000~5,000	5.35	456	303	501	333	551	366	605	403
5,000~7,000	2.45	209	139	230	152	252	168	278	184
7,000~10,000	5.19	442	294	486	323	534	355	587	390
10,000~15,000	1.58	135	90	149	98	163	108	179	119
15000~20,000	0.74	63	42	70	46	77	50	84	56
20,000~25,000	0.40	35	22	38	25	42	27	46	30
25,000~30,000	0.61	53	34	58	38	63	42	69	46
30,000~50,000	1.00	86	56	94	62	104	68	114	75
50,000~60,000	0.84	72	48	79	52	87	57	96	63
60,000~75,000	0.05	5	3	5	3	6	3	6	4
75,000~100,000	0.01	2	0	2	0	2	0	2	0

2. 컨테이너선 교통량 추정

1) 부산 신항의 개요

부산 신항은 <표 3-8>와 같이 안벽의 총 길이가 1,200m인 3개의 선석으로

2006년 2월 19일에 개장하였다. 2009년에는 총 9개의 선석을 개장할 예정이며 2011년까지는 30개의 선석을 완공할 예정에 있다. 첫 정기선은 스위스 선사 MSC 소속 컨테이너선 리사(RISA.5천TEU급)호로서 같은 달 25일에 입항하였다. MSC는 매주 2편을 부산 신항에 입항시키고, 4월부터는 주 3항차로 늘려 2006년에 신항에서 20만~30만개의 물량을 처리하고 2007년부터는 신항 처리물량을 늘려나갈 예정이다. 부산 신항은 개장된 3개 선석에서 2006년에 컨테이너 90만개의 목표를 가지고 있다.

<표 3-4> 각 연도별 개장할 안벽 및 야드

구분		2006	2007	2009	전체
선석	개수(개)	3	3	3	9
	안벽길이(m)	1,200	800	1,200	3,200
야드	Ground Slot(TEU)	10,446	7,620	10,932	28,998
	최대장치능력(TEU)	46,570	35,858	50,094	132,522

2) 부산 신항의 컨테이너선 교통량 추정

부산 신항은 2006년에 컨테이너 처리목표량을 90만개로 계획하고 있으나 장래의 컨테이너 처리물량은 상당히 불투명한 가운데 있다. 따라서 기존의 부산 신항과 관련된 각종 보고서에서 제시된 발생 교통량, 선석의 수, 안벽길이 등을 2006년 3월 현재 실행 또는 계획안에 따라 고려하여 컨테이너선의 각 규모별 2006년과 2009년의 입항 선박량을 <표 3-5>와 같이 추정하였다. 2006년에는 총 446척이 입항할 것으로 예상되었고, 2009년에는 1,421척으로 예상되었다. 또한 일반 화물선과 동일하게 교통량의 일일주기의 변동을 고려하기 위하여 06:00~18:00 사이의 12시간 교통량비 즉, 1일 교통량에 대한 주간비율과 야간 비율을 각각 0.6, 0.4로 설정하였다.

<표 3-5> 입항 선박량의 추정척수

구분	2006				2009			
	척수(척)			비율(%)	척수(척)			비율(%)
	주간	야간	전체		주간	야간	전체	
전체	267	179	446	100.00	852	569	1,421	100.00
2천TEU이하	120	80	200	44.84	382	256	638	44.90
4천TEU이하	58	40	98	21.97	187	125	312	21.96
5천TEU이하	32	22	54	12.11	102	69	171	12.03
6천TEU이하	45	31	76	17.04	144	97	241	16.96
6천TEU이상	10	8	18	4.04	35	24	59	4.15

3.2.2 해상교통 혼잡도 평가

1. 검토기준

1) 항행 통행량 산정

항행 교통량 산정은 일정기간동안 수로내의 일정지점을 통과하는 최대가능선박의 숫자로서 다음과 같이 계산된다.

$$C_b = \frac{V}{d} \quad (3.1)$$

단, C_b : 기본 교통용량(척/hr)
 V : 선박의 평균항행속도(km/hr)
 d : 선박간 최소 이격거리(km)

2) 선박간 최소이격거리(d)

최소이격거리는 수로내에서 앞의 배가 갑자기 정지를 하거나 좌초되었을 경우 뒤에 따라오는 배가 즉시 정지를 시작하여 정지된 배에 충돌하지 않을 충분

한 거리간격을 의미한다. 최소이격거리에 대한 관련 국내규정은 없으며 선박의 규모, 위험물 적재여부, 수로특성등에 따라 결정되나 PIANC(Permaenant International Association of Navigational Congress)가 제안한 선박정지거리에 관한 식에 수로특성에 따른 안전율 1.8을 곱한 제안식을 적용하면 무리가 없을 것으로 판단된다.

$$- \text{PIANC식} : D_d = 4L \times \left(\frac{V_o}{2.5}\right)^{0.75} + L \quad (3.2)$$

단, D_d : 정지거리
 L : 선박의 길이(m)
 V_o : 선박의 속도(m/sec)

$$- \text{안전율을 감안한 식} : d = 1.8 \times D_d$$

$$= (2.2 \times V^{0.75} + 1.8) \times L \quad (3.3)$$

단, d : 최소이격거리(m)
 V : 선박의 속도(knots)
 L : 선박의 길이(m)

자료 : 「항행수로 능력산정 모형검토」 - 임진수, 대한교통학회지 제 8권 1호, 1990

UNCTAD 발행 「Port Development」에 의하면 심해에서 선박의 정지거리로 컨테이너 선박은 6~8L, 일반화물선은 4~7L, LNG선의 경우는 10~12L을 제안하고 있는바 위의 식을 사용하면 안전측으로 계산될 것으로 판단된다.

3) 선박의 평균항행속도

선박의 항행속도에 대한 제한여건의 경우 가덕수도의 항행최고속도는 15knots로 제한되어 있다. 본 검토에서는 선박의 항행속도를 작게 설정하는 것이 수로능력 측면에서 안전측임을 감안하여 가덕수도에서의 항행속도를 8, 10, 12knots로 각각 구분하여 적용하였다.

4) 통항선박의 분포

통항선박의 톤급 및 TEU급별 분포에서 제시된 교통량 자료를 사용하여 다음 <표 3-6>와 같이 결정하였다.

<표 3-6> 통항선박 규모별 분포

구분	교통량(척)		상대도수	적용치	
	2006년	2009년		선형(TEU)	백분율(%)
2천TEU이하	200	638	0.45	2,000	45.0
4천TEU이하	98	312	0.22	4,000	22.0
5천TEU이하	54	171	0.12	5,000	12.0
6천TEU이하	76	241	0.17	6,000	17.0
6천TEU이상	18	59	0.04	8,000	4.0
계	446	1,421	1	-	100.0

5) 가덕수도 통항가능척수 산정

가. 선박규모별 최소이격거리 및 기본통항 용량

<표 3-7> 선박규모별 최소이격거리 및 기본통항 용량

구분	대표 선박길 이 (m)	최소이격거리(m)			통항용량(척/hr)			
		8knots	10kts	12kts	8kts	10kts	12kts	
일 반 화 물 선	100GT	20	245	283	320	60.47	65.44	69.45
	100~500GT	40	491	567	639	30.18	32.66	34.78
	500~3,000GT	70	859	992	1,119	17.25	18.67	19.86
	3,000~5,000GT	100	1,227	1,417	1,598	12.07	13.07	13.91
	5,000~7,000GT	115	1,410	1,630	1,838	10.51	11.36	12.09
	7,000~10,000GT	130	1,594	1,842	2,078	9.29	10.05	10.69
	10,000GT이상	150	1,840	2,126	2,398	8.05	8.71	9.27
컨 테 이 너 선	2,000 TEU급	180	2,208	2,551	2,877	6.71	7.26	7.72
	4,000 TEU급	240	2,944	3,401	3,836	5.03	5.45	5.79
	5,000 TEU급	270	3,312	3,826	4,316	4.47	4.84	5.15
	6,000 TEU급	300	3,680	4,251	4,795	4.03	4.36	4.63
	8,000 TEU급	340	4,170	4,818	5,435	3.55	3.84	4.09
	12,000 TEU급	400	4,906	5,669	6,394	3.02	3.27	3.48

나. 시간당 최대 통항가능척수(주간)

<표 3-8> 시간당 최대 통항가능척수

구분		2006년도		2009년도	
		교통량	상대도수	교통량	상대도수
일반 화물 선	100GT	738	0.082	979	0.077
	100~500GT	1894	0.211	2514	0.198
	500~3,000GT	4328	0.483	5745	0.451
	3,000~5,000GT	456	0.051	605	0.048
	7,000~10,000GT	209	0.023	278	0.022
	7,000~10,000GT	442	0.049	587	0.046
	10,000GT이상	451	0.050	596	0.047
컨테 이너 선	2,000 TEU급	200	0.022	638	0.050
	4,000 TEU급	98	0.011	312	0.025
	5,000 TEU급	54	0.006	171	0.013
	6,000 TEU급	76	0.008	241	0.019
	6,000 TEU급 이상	18	0.002	59	0.005
합계		8,964	1.000	12,725	1.000

주간(8knots시)

$$2006년도: \sum_{j=1} (선박 j \text{ 군의 통항용량} \times \text{선박 } j \text{ 군의 상대도수}) = 21.68(\text{척/hr})$$

$$2009년도: \sum_{j=1} (선박 j \text{ 군의 통항용량} \times \text{선박 } j \text{ 군의 상대도수}) = 20.62(\text{척/hr})$$

여기서, j : 선박규모별로 구분된 선박종류

다. 평상시 통항가능척수

평상시 통항가능척수는 실제적으로 통항 가능한 최대선박의 수를 말하며, 이를 산정하기 위하여 선박의 도착패턴이 포아송 분포를 따른다고 가정하였다. 또한 통계분포이론에 따르면, 이러한 통항가능척수가 단위 시간동안 9건을 초과하여 발생하는 경우에 선박의 도착분포는 평균이 통항가능척수이고, 표준편차는 통항가능척수의 제곱근으로 정규근사하게 된다. 따라서 단위시간을 1시간으로 설정하여 시간당 최대 통항가능척수(N_{imax})로부터 근사정규분포에서 95%의 값(percentile)을 평상시 시간당 통항가능척수(N_{μ})로서 산정하였으며 식은 (3.5)과 같다.

$$\frac{N_{imax} - N_{\mu}}{\sqrt{N_{\mu}}} = 1.645 \quad (3.5)$$

여기서, N_{imax} : 시간당 최대 통항가능척수

N_{μ} : 평상시 시간당 통항가능척수

그러므로 위의 식을 통해서

2006년도: 평상시 시간당 통항 가능척수(주간) ≍ **15.25**(척/hr)

2009년도: 평상시 시간당 통항 가능척수(주간) ≍ **14.38**(척/hr)

라. 부산 가덕수도의 연간 통항가능척수

연간 주간시간대의 통항가능척수는 연간 통항가능일수를 340일로 설정하여 이를 평상시 주간 통항가능척수와 곱하여 다음과 같이 산출하였다.

2006년도: $15.25(\text{척/hr}) \times 12(\text{hr}) \times 340(\text{일/년}) = 62,220(\text{척/년/주간})$

2009년도: $14.38(\text{척/hr}) \times 12(\text{hr}) \times 340(\text{일/년}) = 58,670(\text{척/년/주간})$

6) 검토 결론

위에서 산정한 부산 가덕수도의 경우 선박통항 가능척수 및 입출항 소요척

수를 비교하면 다음과 같다. 주간은 상대적으로 야간보다 통행량이 많으므로 주간 중의 통행특성을 파악하였다. 다음 <표 3-9>는 선박통행 가능척수 및 예측교통량을 비교한 것을 나타낸다.

<표 3-9> 선박통행 가능척수 및 예측교통량 비교

구분	2006년	2009년
연간 선박통행 가능척수(척/년/주간)	62,220	58,670
입·출항 예측교통량(척/년/주간)	8,964	12,725
비율(%)	14.4	21.7

장래(2009년)까지 상대적으로 통행량이 많은 주간 중에 부산 가덕수도로의 선박수요가 부산 가덕수도의 최대통행능력에 대비하여 22%이하로서 통행용량은 충분할 것으로 예상된다. 따라서 준설작업으로 인한 가덕수도의 각 입·출항별 단선항로를 운영하더라도 해상교통량으로 인한 교통혼잡이 발생되지 않을 것으로 판단된다.

제4장 공사에 따른 안전통항방안

4.1 가덕수도 임시항로의 설정검토

4.1.1 가덕수도의 기존 항로

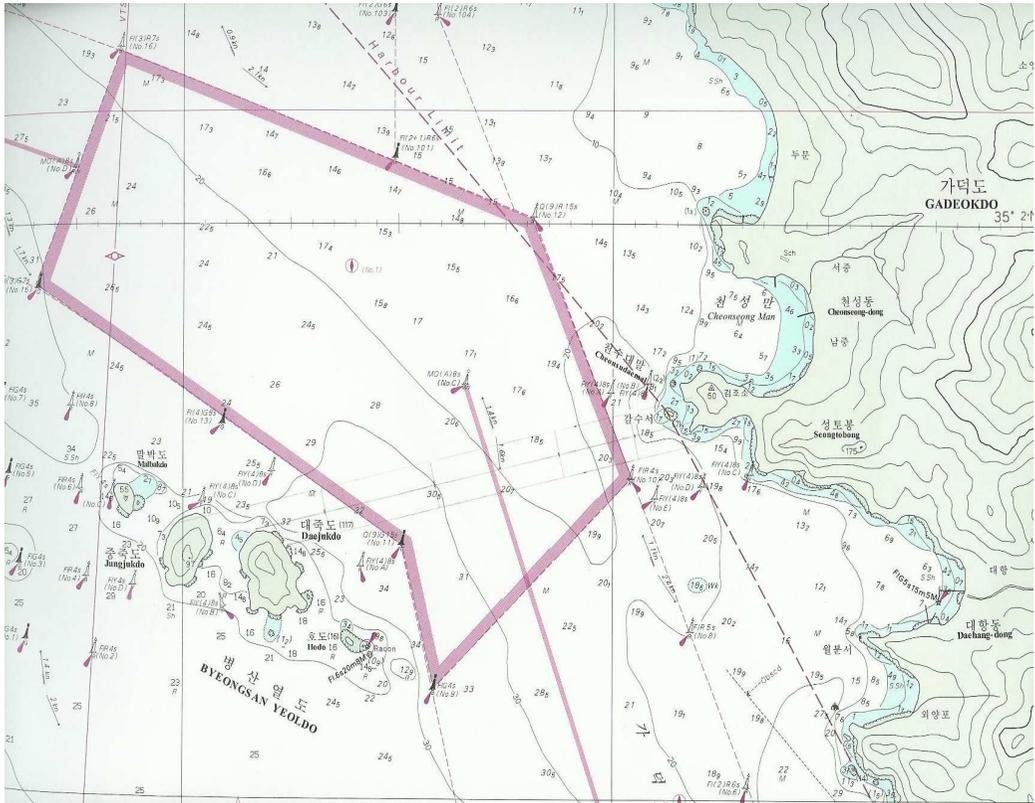
가덕수도의 현 항로는 부산신항의 주 통항로로서 이용자의 의견수렴과 전문가의 검토 및 시뮬레이션을 통한 검증작업을 거쳐 최종안을 확정되었다. 컨테이너선의 대형화 추세에 맞추어 12,000TEU급 컨테이너선이 원활히 입·출항할 수 있도록 항로가 배치되었다.

1. 가덕수도의 항로배치

가덕수도를 따라 항행하는 선박과 신항의 입·출항 선박이 만나는 지점에는 경계해역(Precautionary Area)을 두어 교통의 흐름이 섞이는 곳에서의 안전항행을 유도하였고, 경계해역 서측의 가덕수도는 항로폭을 확대하여 좌측의 항로와 같은 폭을 가지도록 배치하였다.

2. 연안통항대(Inshore Traffic Zone) 배치

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



<그림 4-1> 가덕수도의 항로배치도

4.1.2 항로의 설계기준

가덕수도를 횡단하는 준설공사에 따른 일부 항로의 차단으로 공사기간 동안에 기존의 가덕수도 항로를 대신하는 임시항로를 설정할 필요성이 있다. 이에 필요한 임시항로의 설계는 일반적인 항로의 설계기준을 준용하는 것이 바람직하다.

1. PIANC Rule

유럽지역을 중심으로 하여 전 세계적으로 널리 사용되고 있는 항로설계 지침인 PIANC Rule은 주로 유럽지역의 항만 및 항로 설계 전문가, 선체 운동에 관한 연구자 및 항해전문가들로 구성된 PIANC(Permanent International Association of Navigation Congresses)에 의해 1978년에 구성된 ICORELS의

제 4연구 소위원회가 2년간의 연구를 거쳐 1980년도에 발표한 것으로서, 항로의 수심, 항로의 배치, 항로의 폭 그리고 선회수역의 크기 및 배치에 관한 설계 지침이다. 각 항목별 주요 내용은 다음과 같다.

가. 항로의 배치

- 대개의 경우, 항로의 배치는 해당 지역의 지리적 특징 및 환경 조건 등에 따라 미리 결정되어지는 측면이 다분히 있다. 여러 형태의 배치가 가능한 경우에는 가장 안정된 상황 아래에서 가장 쉽게 선박이 통항할 수 있는 항로가 선택되어야 한다. 항로를 설계할 때에는 해당 해역의 바람, 조류, 파도 등을 고려한 선체운동역학, 육상의 항로표지 및 통항하는 선박에 탑재되어 있는 항해장비 등의 성능들을 고려하여 그 배치를 결정하여야 한다.
- 선박의 조종성능은 횡방향의 조류나 바람에 크게 영향을 받기 때문에, 적어도 항해상의 위험이 예견되는 곳에서는 항로를 이용할 대형 선박들의 최저속도를 고려하여, 선박의 편각이 10도 내지 15도를 넘지 않도록 하는 것이 바람직하다. 조류는 가급적 선수방향에서 받도록 하는 것이 좋다.
- 항로상에서는 변침이 매우 위험한 요소의 하나이므로 가급적 직선 항로가 되도록 설계하는 것이 바람직하다. 조류의 자연스러운 흐름에 따르면서 긴 간격을 두고 소각도 변침을 수회하는 것은 신뢰성 있는 항로표지가 선박의 위치 확인 등을 확실하게 보장할 수 있는 경우라면 허용될 수 있다.
- 대각도 변침이 불가피한 경우에는 선회 중심점을 중심으로 방사형의 조선이 가능하도록 항로의 만곡부가 설계되어야 한다. 따라서 작은 간격으로 다수의 커브를 두는 것 보다는 하나의 단일 커브가 더 낫다. 그러나 방사형 조선이 가능한 단일 커브의 수로를 설계하는 경우에는 큰 시간의 소요 없이 위치 확인이 가능하도록 항로의 만곡부에 양질의 항로표지가 설치되도록 하여야만 한다.
- 항로의 만곡부는 그 반경이 최소한 가장 큰 통항 선박의 선체 길이의 5배(5L)는 되어야 하며 가능하면 10배(10L) 이상이 좋다.

- 만곡부들 사이의 직선 통항로는 가급적이면 가장 큰 통항 선박의 선체 길이 10배의 길이(10L)를 갖도록 하여야 한다.
- 교량이나 방파제, 파제제 등이 있거나 하여 항로가 좁아지는 부분의 경우에는 최소한 가장 큰 통항 선박의 선체 길이 5배를 갖는 직선 통항로를 경계 부분 전후에 두어야 하며, 그 구간에는 특히 양질의 항로표지를 설치해 두어야 한다. 그리고 항로의 폭 부분에서 정의될 최소 항로폭은 반드시 지켜져야 한다.
- 수로나 항내에서 선박사고나 기관 고장이 발생할 수 있으며, 그러한 경우 해상교통이 완전히 마비되거나 교통 흐름 속도가 현저히 떨어질 수 있다. 항로마다 각 선박의 종류에 따라 해당 선박이 정지 또는 후진하거나 수로를 벗어날 수 없는 소위 “돌아갈 수 없는 지점”들이 있다. 따라서 다음과 같은 내용이 권고된다.
 - ① 특히 긴 수로나 복잡한 항로의 경우 항해 불능 선박이 가급적 빠른 시간 내에 항로를 벗어날 수 있도록 하는 여유수역을 적절히 마련해 둘 필요가 있다.
 - ② 대형선에 대하여서는 돌아갈 수 없는 지점으로부터 진입항까지의 거리를 가급적 짧게 해야 한다.

나. 항로의 폭

- 항로의 폭이란 확보된 최저 수심상의 수로의 최소 너비를 말한다.
- 편도 항로의 항로폭은 다음으로부터 결정된다.
 - ① 항로를 이용할 최대 선박의 선평
 - ② 선박의 실제 위치와 항해사가 가능한 모든 정보, 특히 항로표지들을 이용하여 구한 선위와의 차 중 횡방향 성분의 크기
 - ③ 항로로부터의 이탈을 확인한 후로부터의 원항로로 돌아가기 위한 수정 동작이 취해지기 시작한 시점까지 발생하는 추가적인 이탈 거리
 - ④ 횡방향의 조류를 받으며 편각을 가지고 항해를 해야 할 경우 항로폭에 다음 값을 추가하여야 한다.

- $L/2 \sin\beta$ (L:선체의 길이, $\sin \beta \approx$ 조류속도의 횡방향 성분/선속)
- 횡방향으로 부는 바람도 유사하게 고려되어야 한다.

㉔ 좌우현으로 선폭의 1/2보다 작지 아니한 안전 여유 폭

- 따라서 항로의 최소폭은 기본적으로 다음에 의해 결정된다.

- ㉕ 항로를 이용할 가장 큰 선박의 크기와 조종 성능 : 통상적으로 충분한 양의 신뢰성 있는 조종성능 자료들을 구할 수가 없기 때문에 특정한 통항 조건하에서의 선박의 Yaw와 그에 따르는 침로로부터의 이탈량에 관한 일반적인 자료는 제시할 수 없다. 그러나 배가 크면 클수록 타력의 영향이 커지게 되고 상대적으로 항로의 폭도 넓게 요구된다는 점이 강조된다.
- ㉖ 특정한 항행환경에 맞게 적절히 설비되어야 하는 여러 가지 항로표지 및 항해기기들의 특성을 감안하여야 한다.
- ㉗ 항로표지의 정확도 및 신뢰성 : 예를 들면 수로의 경계를 표시하는 부표의 실제 위치는 묘박 상태의 부정확, Sinkers를 중심으로 한 이동(회전 반경), 그리고 악천후 등으로 인해 실제 위치에서 밀려나 있는 경우 등으로 인해 해도상의 위치와 다를 수 있다. 육상에 설치된 가장 좋은 통신시스템조차도 오차 또는 고장이 전혀 없을 수는 없다. 이러한 측면에서 모든 항로표지의 특징, 정확도 그리고 관련 정보를 선장 및 도선사에게 통보해 주는 주기 등이 고려되어야 한다.
- ㉘ 허용 통항 속도, 교통량 및 교통 특성을 고려하여야 한다.
- ㉙ 스웰 또는 바람에의 노출 정도 등과 같은 해상 및 기상 상태, 특히 조류의 성질 및 세기, 그 중에서도 항로의 횡방향 성분에 대한 것이 중요한 요소이다. 그리고 항로 전반에 걸친 조류의 변화도 중요한 고려사항이다. 급속한 횡조류의 변화가 있는 곳에서는 항로폭에 추가여유를 주어야 한다. 항로의 추가 여유폭은 조류 변화의 크기 및 지속 기간 등에 따라 선체폭의 1~2배 정도를 주어야 한다.
- ㉚ 항로폭은 특히 선장과 도선사의 경험과 같은 인간요인의 영향을 크게 받는다. 대형선 입·출항이 가능하도록 기존의 항로를 확장할 것인지 아니면 새로운 항로를 개설할 것인지 하는 것에는 큰 차이가 있다.

- 현재의 기술수준으로는 진입 수로의 폭을 결정하는데 영향을 주는 상기의 여러 가지 요소들이 부분적으로 평가될 수 있을 뿐 이들의 영향에 대한

종합적이고 정확한 계산을 할 수는 없다.

여러 가지 편도 항로에 대한 검토를 해본 결과 지역적인 조건 및 환경의 차이에 따라 항로의 최소폭은 가장 큰 출입 선박의 폭의 4배(4B)에서 8배(8B) 그리고 크게는 10배(10B)에까지 이를 수 있다는 것이 확인되었다. 현재 할 수 있는 유일한 일반적 권고는 항로폭이 가장 큰 선박폭의 5배(5B) (연구에서의 대상선박(최대 12,000TEU)의 폭이 약 54m이므로 270m가 필요함)보다 작아서는 안된다는 것이다. 이는 육상에 설치되거나 선박에 비치된 장비의 고장이 절대적으로 배제될 수 없고 거기에 따른 위험이 항상 존재하고 있기 때문이다. 특히 횡방향으로 조류가 흐르는 등 더 열악한 환경 하에서는 항로폭이 이에 따라 더 넓어져야 한다.

- 만곡부에서는 항로의 폭이 다음에 따라 증가되어야 한다.

- ④ 선박의 길이에 따르는 항로의 여유폭 $L^2/8R$ (L : 선박의 길이 R : 만곡부의 반경)
- ⑤ 조종상의 어려움, 특히 선박은 그 특성상 조선명령에 신속히 응답하지 않으며, 따라서 도선사가 선박의 운동을 예측해가면서 조선해야 하는 어려움을 고려한 추가 여유폭이 필요하다. 이 여유폭은 만곡부의 반경이 짧거나, 침로의 변화가 크거나, 조류나 바람의 속도가 빠른 경우 더욱 중요하며, 서로 다른 폭을 갖는 항로 구간들의 경우 그 끝들은 직선 구간으로 연결되어야 한다. 그리고 항로폭의 변경은 전진거리 100m당 10m를 초과해서는 안 된다.

따라서 권고된 편도 항로의 항로폭에 가장 큰 선박의 선폭의 3배 내지 5배를 추가해 주어야 하며, 조류나 바람에 의한 Drifting 효과에 의한 값(가장 큰 선박의 길이 × sine 최대편각 β)을 더해 주어야 한다. 이러한 조건이 충족되지 않는 곳에서는 대형선 2척이 동시에 운항하는 것이 허용되어서는 안된다. 교통량이 많거나 항로를 횡단하는 선박 통항을 배제할 수 없는 경우에는 선박사고나 기관고장 등의 위험성을 고려해야 하며, 이 경우 편도 항로의 경우보다 더 세심한 고려가 필요하다.

사고 발생시 항로 마비를 피할 수 있도록 사고선의 처리 방안 또는 항로의 여유폭이 마련되어 있어야 한다. 또한 교통관제는 매우 중요한 사항 중 하나이

며, 본 항에서 권고된 내용을 뒷받침하고 확인하기 위해 선박이 서로 교행할 때의 선체 운동에 관하여 보다 더 많은 연구가 필요하다.

2. 미국의 항로설계 지침

미국의 경우 항로를 설계할 때 미육군 공병대에서 1983년에 발표한 항로 설계를 위한 지침을 이용하고 있다. 이 항로설계 지침은 항로의 수심, 항로의 폭과 배치, 선회수역의 크기 및 수심에 관한 가이드라인을 제공하고 있으며, 그 내용은 다음과 같다.

가. 항로의 배치

초기 건설시 및 향후 관리시 준설을 최소화하기 위해서는 항로의 배치가 수로의 깊은 수심을 따라서 될 수 있도록 항로를 설계하여야 한다. 비록 항로상의 만곡부의 수는 가능한 한 줄일 수 있도록 해야 하지만, 직선 구간들 사이에 작은 만곡부를 두는 것은 Range marker를 적절히 세워 두면 위치확인이 용이하게 될 수 있고, 정확한 조종을 가능하게 해줄 수 있기 때문에 허용될 수 있다. 그리고 만곡부 간의 직진 구간은 적어도 최대 선박의 선포의 5배(5B, 이 연구에서의 대상선박의 폭이 약 54m이므로 270m가 필요함)는 되어야 한다. 완만한 만곡부가 불가능한 곳에서는 만곡부를 ACM방식으로 절단하여 확장하는 것을 고려하여야 한다. 방파제나 호안 또는 파도 흡수장치와 같은 구조물을 적절히 설치하여 항로의 배치 및 폭을 조절할 수 있다. 만일 퇴적물의 이동이나 침전을 조절할 구조물이 설치되지 않는다면 모래톱이나 진흙톱을 가로지르는 항로 배치는 피해야 한다. 항로배치에 관한 결정은 선택 가능한 항로별로 항로를 건설하는데 드는 건설비와 유지비의 계산을 통해 이루어진다.

나. 항로의 폭

- 일반사항

항로폭은 당해 항로를 이용하게 될 선박이 안전하고 효율적으로 운항할 수 있도록 설계되어야 한다. 필요한 최소 항로폭은 선박의 크기와 조종성능, 수로의 형태와 배치, 교통밀도, 해당 해역의 바람, 파도, 조류 및 시정, 항로표지의

성능과 설치간격, 그리고 편도 또는 왕복통행 항로 여부에 따라 결정된다. 항로의 폭은 설계 수심보다 깊은 해저면의 폭으로 측정된다. 항로폭의 안전성과 효율성을 평가하기 위해 수리 모델 또는 수치 시뮬레이션 모델이 사용되어 질 수 있다.

- 고려사항

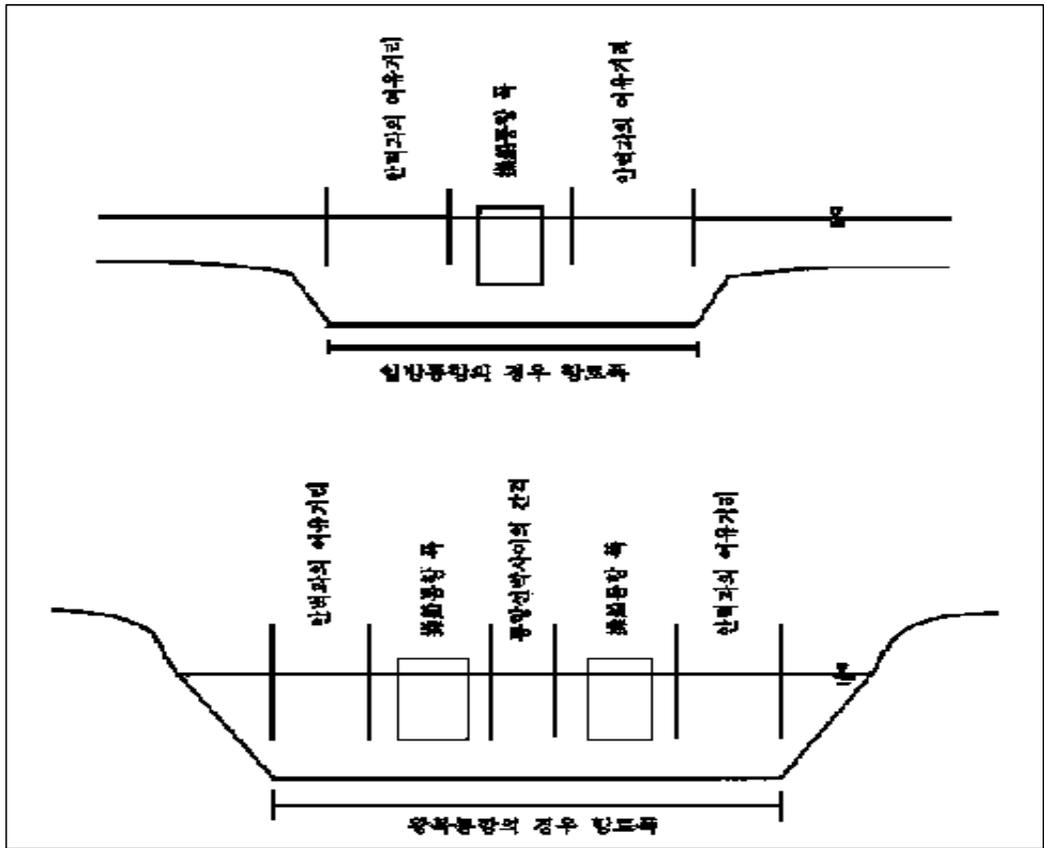
항로폭은 선박의 조종통행폭, 통행 선박 사이의 간격, 그리고 특히 제한된 수로의 경우 안벽과의 여유 거리를 제공할 수 있는 폭이 되어야 한다. 항로의 입구 또는 만곡부에는 여유폭을 추가로 주어야 한다.

- 조종통행폭(Maneuvering Lane)

최소 항로폭을 결정하는 첫 번째 단계는 선박의 조종통행폭을 결정하는 것이다. 조종통행폭은 선박이 안벽과의 여유거리 구간을 침범하거나 다른 선박에 위협을 줄 정도로 타 선박의 항로를 침범함이 없이 직진 항로로부터 벗어날 수 있는 폭이다. <그림 4-2>와 <표 4-1>에 항로폭에 대한 상세한 내용이 나와 있다. 유능한 도선사가 조종하는 조종성능이 우수한 선박의 경우 조종통행대의 최소폭은 선폭의 160%이다.

이 값은 선박이 편각을 가지고 항해하게 만드는 횡방향의 조류, 바람 그리고 파도의 영향이 없는 항로에 적용된다. 조종 성능이 좋지 않은 선박이 대상 선박인 경우, 같은 조건하에서 조종통행폭은 선폭의 200%가 된다. 대형선 통항이 그리 빈번하지 않은 항로의 경우에는 작은 선박은 왕복통행, 대형선은 일방통행을 할 수 있도록 설계할 수가 있다. 항로의 조종통행 폭을 결정할 때 횡방향의 조류 또는 바람의 영향이 있는지 그리고 기상 상태가 시정이나 타선박의 위치 파악에 영향을 주는지에 대한 판단이 요구된다. 당해 항로를 이용하게 될 선박들의 조종 특성에 대한 정보는 선주 또는 선박 운항자들로부터 얻을 수 있다.

선박 통항량이 매우 많은 항로나 위험화물이 운송되는 항로의 경우에는 추가 여유폭을 주어야만 한다. 물리적인 모형이나 많은 선박의 모의모형이 여러 형태의 수로폭의 안전성을 평가하는데 사용되어질 수 있다. 여러 항로폭에 대한 안전도를 평가하기 위해 수리 모델 또는 수치 시뮬레이션 모델을 이용할 수 있다.



<그림 4-2> 향로폭

향로설정에 있어서의 일방통향과 양방통향의 경우의 향로폭을 나타내는 그림
 일방통향일 경우 선폭의 3배(3B)이상(윗그림), 양방통행일 경우 선폭의 5배(5B)
 이상의 향로폭을 확보하여야 함을 나타낸다,

<표 4-1> 항로폭에 대한 일반 기준

위 치	선폭의 100분율로 표시한 최소한의 항로폭(%)			
	선박 조종 성능			횡방향의 조류, 바람이 있는 경우 추가폭
	매우양호	양 호	불량	
조종통항폭, 직선항로	160	180	200	판 단
만곡부, 26도 만곡	325	370	415	판 단
만곡부, 40도 만곡	385	440	490	판 단
통항선박사이의 간격	80	80	80	100 그리고 100 FEET 보다 작지 않을 것
안벽과의 여유거리	60	60	60+	판 단

- * 판단은 각 사업별로 지역적 특성에 따라 이루어짐
- * 안벽과의 여유거리 최소한 60% 이상 확보하도록 정하고 있음

- 부표와의 여유거리

항로를 표시하기 위한 부표는 조류 및 수심의 변화 그리고 파랑에 의해 그 위치가 변화한다. 또한 부표의 위치는 정확성에 한계가 있다. 항로폭을 결정할 때에 부표의 이동과 관련하여 여유폭을 줄 것인가 하는 것은 선택적인 사항이다. 부표와의 여유거리는 지역적인 상황에 따라 판단할 사항이며, Range marker를 사용하는 항로의 경우에는 필요치 않다.

- 항로 만곡부에서의 항해

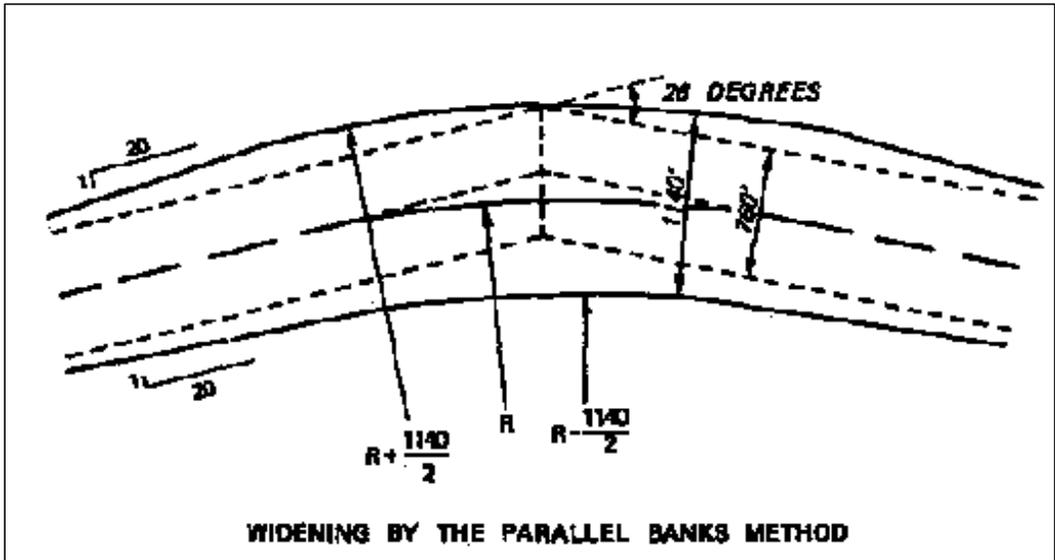
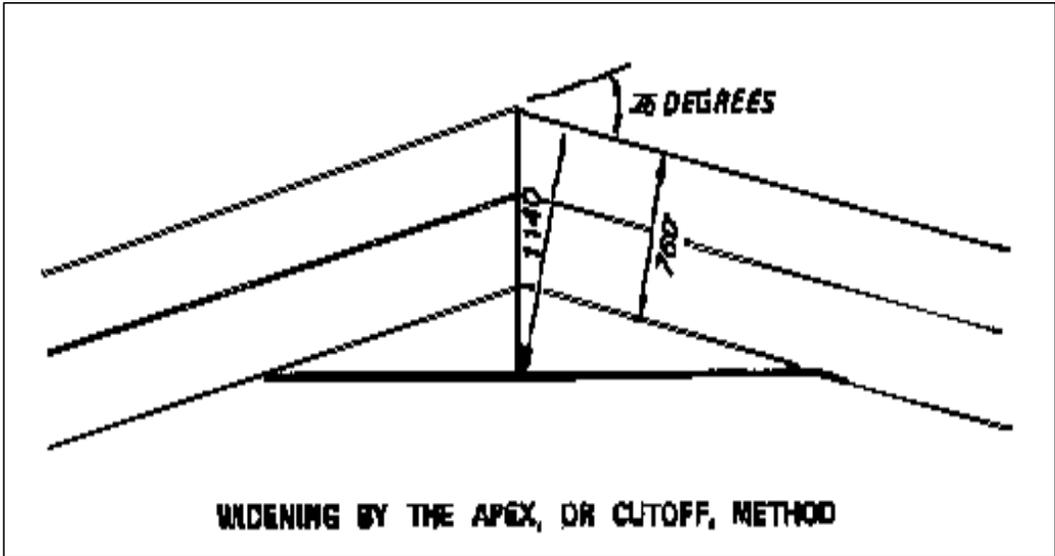
선박이 만곡부를 항해할 때의 항적폭은 직선 구간 항해시의 항적폭보다 더 크다. 만곡부에서의 항적폭은 만곡도, 선박의 길이와 폭, 그리고 속도와 조종 성능에 좌우된다. 만곡부를 따라 변침해 가며 항해하는 선박의 경우에도 조류, 바람, 그리고 파도의 영향을 받으며, 이 경우 선박의 진행 방향이 변함에 따라 각각 다른 힘을 받으며 항해하게 된다. 통상적으로 만곡부에서의 항해는 직선 항로에서의 경우보다 훨씬 더 어렵다.

- 만곡부에서의 항로폭

만곡부를 항해하는 선박의 항적폭은 직선 구간을 항해하는 경우보다 그 폭이 더 크기 때문에 만곡부에서는 항로폭을 더 넓게 해야 한다. 만곡부에서 요구되는 추가 항로폭에 대한 정보는 매우 적으며, 1940년도의 파나마 운하의 선박 통항에 관한 연구시에 검토된 내용이 참고될 수 있을 것이다. 그 값은 <표 4-1>에 제시된 것과 같으며 26도 및 40도의 각도를 갖는 만곡부에 대한 항로폭을 제시하고 있다. 만곡부의 추가 항로폭은 선박의 길이와 만곡부의 반지름의 크기와의 관계가 있기 때문에 이러한 값에 대한 고려가 없는 이 연구 결과 값은 어디까지나 일반적인 값에 불과하다고 할 수 있다. 일반적으로 항로의 만곡부는 최대통항 선박의 최대 선폭의 5배의 반경(5B)을 가져야 하며 가능하면 10배(10B) 이상이 안전하다. 만곡부에서 항로의 폭을 증가시키면 기존 조류의 방향과 크기에 변화를 가져 올 수 있고 경우에 따라서는 항해를 더 어렵게 하는 결과를 가져올 수 있다. 따라서 만곡부에서의 항로폭 추가와 관련한 결정을 할 때에는 조류, 바람, 파도의 영향 및 선박이 항로 외측으로 밀리는 영향 등에 관해 각 사안별로 구체적인 연구검토를 거쳐야만 한다.

- 만곡부에서의 항로폭을 증가시키는 방법

만곡부의 항로폭을 증가시키는 방법은 여러 가지가 있다. 가장 보편적인 방법은 ACM(Apex or Cutoff Method)방법이라고 알려진 것으로 <그림 4-3>와 같이 만곡부의 안쪽 꼭지점 부분을 절단하여 삼각형 형태로 항로폭을 확대하는 것이다. 이렇게 확장하는 경우 조류의 흐름을 나쁘게 하는 경우가 발생할 수도 있다. 다른 한 방법은 PBM(Parallel Banks Method)방법으로, 만곡부의 항로폭을 일률적으로 넓히고, 만곡부 앞뒤의 직선 구간과의 연결 부분까지는 항로폭을 점진적으로 줄여서 직선 구간 항로와 연결되도록 하는 방법이다. 이 방법은 일반적으로 준설 면적이 넓게 되는 특징이 있고, 수심 등에 있어서 심하게 제한된 수로나 조류가 위험한 곳에서 유리한 방법이다.



<그림 4-3> 만곡부에서의 향로폭 증가 방법

만곡부의 향로폭을 증가시키는 방법은 여러 가지가 있다. 가장 보편적인 방법은 ACM(Apex or Cutoff Method)방법이라고 알려진 것으로 <그림 4-3>와 같이 만곡부의 안쪽 꼭지점 부분을 절단하여 삼각형 형태로 향로폭을 확대하는 것이다. 이렇게 확장하는 경우 조류의 흐름을 나쁘게 하는 경우가 발생할 수도 있다.

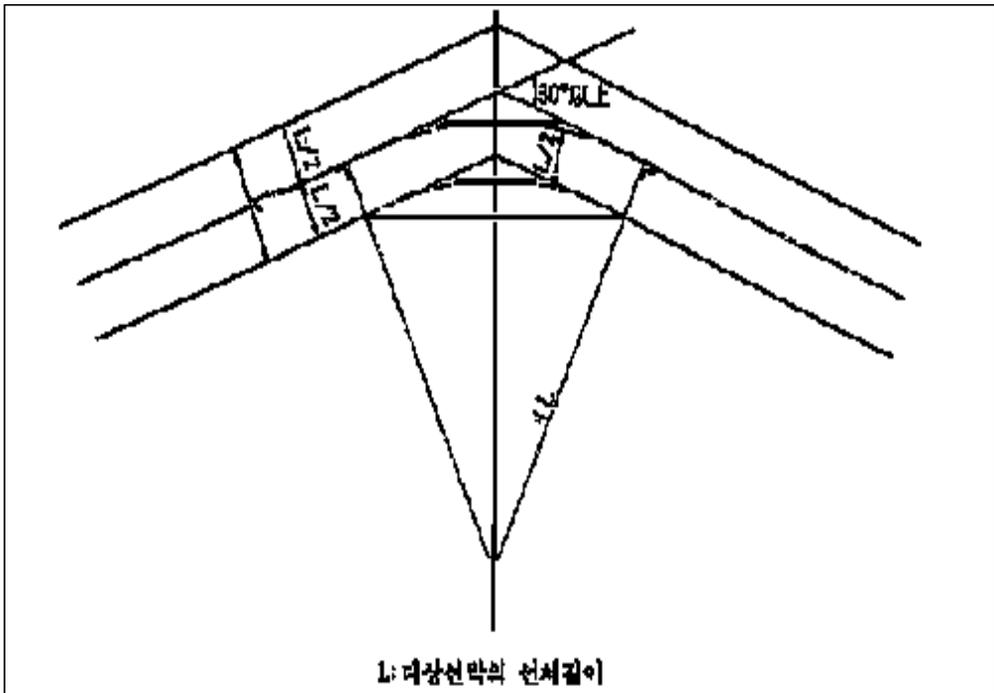
3. 일본의 항로설계 지침

일본의 항로설계지침은 크게 항로와 정박지 두 부분으로 나누어져 있으며 항로편에서는 항로 만곡부의 배치, 항로의 폭 및 수심을 다루고 있고, 정박지편에서는 정박지의 면적, 돌제와 돌제 사이의 박지의 폭, 선회수역의 크기, 정박지의 수심에 대해 다루고 있다. 그 내용은 다음과 같다. 항로를 계획할 때에는 안전한 항행, 조종의 용이함, 지형, 기상, 해상조건, 및 관련시설들과의 조화를 고려해서 계획하여야 한다. 항로란 선박의 항해를 위해 설정된 소정의 수심과 폭을 갖는 수로를 말하며, 다음과 같은 조건이 만족되었을 경우 양호하다고 할 수 있다.

- 만곡부가 있을 경우 만곡도가 적을 것
- 폭이 넓고, 수심이 충분할 것
- 바람, 조류 그리고 그 밖의 기상 및 해상 조건이 양호할 것
- 항로표지 및 신호설비 등이 잘 정비되어 있을 것

가. 항로 만곡부의 배치

만곡부에 있어서의 항로 중심선의 교각은 다음 <그림 4-4>와 같이 대체로 30도를 넘지 않는 것이 바람직하다. 30도를 초과하는 경우에는 항로 만곡부의 중심선의 곡률반경이 대상 선박의 선체길이의 4배 이상이어야 하며, 동시에 항로폭이 적정 이상 확보되어야 한다. 단 스포츠 또는 레크레이션용으로 사용되는 요트, 모터보트 등 선회성능이 양호한 선박을 대상으로 하는 경우 및 항로표지 및 신호 등에 의하여 안전하고 원활한 조종이 가능하도록 되어 있는 경우에는 그러하지 않다.



<그림 4-4> 항로 만곡부 배치

선박이 전진 중 타(rudder)를 한쪽 방향으로 취하면 선박은 점차 원침로를 이탈해서 나선형을 그리면서 회두하며, 90도 내지 180도 회두한 후에 원래 가까운 형상으로 일정한 선회운동을 하게 되고, 360도 회두한 뒤에는 원침로에서 일정 거리만큼 회두한 방향으로 치우치게 된다. 이 선회운동 중 선체 중심의 항적을 선회권(turning circle)이라고 부른다. 선회권의 크기는 최대종거(max advance) 및 최대 횡거(max transfer)로 나타내고, 후자는 특히 선회경(tactical diameter)이라고도 하며 일반적으로 선박의 길이(L)와의 비에 의해서 나타낸다. 통상적으로 상선이 최대타각 35도를 취할 경우 선회경은 5L~7L, 최대종거는 거의 최종선회경(final diameter)과 같아지며 4L 내지 6L이 된다. 항로의 만곡부의 곡률반경은 이 선회경의 1/2인 3.5L에 킥(kick)과 그 밖의 여유를 보태어서 4L(이 연구에서의 대상선박의 길이는 215m이므로 860m가 필요함) 이상으로 하는 것을 표준으로 한다.

나. 항로의 폭

항로의 폭은 다음과 같이 정한다.

- 일반항로: 왕복항로에 있어서는 항로의 길이 및 통상 상황에 따라 다음 표와 같이 정해진다.

<표 4-2> 항로의 폭 (우리나라의 경우 포함)

항로의 길이	통항 상황	항로폭
비교적 거리가 긴 항로	대상선박들이 빈번하게 서로 만날 경우	2L
	상기 이외의 경우	1.5L
상기 이외의 항로	대상선박들이 빈번하게 서로 만날 경우	1.5L
	상기 이외의 경우	L

- 통항량이 현저하게 많은 항로 등 : 통항량이 현저하게 많은 항로, 항로를 횡단하는 선박의 항행이 예상되는 항로, 초대형선을 대상으로 하는 항로 등에 있어서는 상기 표의 폭에 이용 실태를 감안하여 여유를 더 주어야 한다.

4. 임시항로 검토의 종합 고찰

위에서 항만 및 항로설계에 따른 국내 및 외국의 여러 가지 규정을 살펴보았다. 그 결과는 가덕수도 항로의 전반적인 항로폭은 1,930m로서 임시항로를 설정하기 위한 여유가 충분하였다. 또한 가덕수도 항로가 굴곡(만곡부 각도 40°)이 있으므로 각 방향별 단선항로를 운영하는 것이 필요한 것으로 판단되었다. 그러므로 이 연구에서는 부산-거제간 침매터널구간의 준설로 인한 선박의 안전통항방안을 모색하였다.

가. 항로의 배치

PIANC Rule에서는 만곡부의 반경은 최소한 최대 통항 선박 길이의 5배(5L)가 되어야 한다고 규정하고 있다. 그리고 만곡부 전후 직선 통항로는 10L, 특

히, 교량 방파제, 파제제 등 해상 시설물 때문에 항로가 좁아지는 경우에는 5L의 직선 통항로가 있어야 한다고 규정하고 있다.

이러한 규정에 따라서 가덕수도 항로를 전반적으로 검토해 보면 충분한 직선거리가 확보되는 것으로 판단된다.

나. 항로 폭

<표 4-1>은 항로폭의 결정을 위한 항만시설물 설계기준서 및 항만 관련자료를 비교 검토한 결과이다. 하지만 여기에서 검토된 항로폭은 단순히 항로의 폭만을 나타낸 것이므로 직선항로의 길이 영향을 제외한 값이다. PIANC Rule에서는 다음과 같이 직선항로를 규정하고 있다. 즉, 만곡부들 사이의 직선 통항로는 가급적이면 가장 큰 통항 선박의 선체 길이의 10배의 길이(10L)를 갖도록 하여야 한다.

외국 및 우리나라의 항로폭에 대한 설계기준을 정리하면 <표 4-3>~<표 4-4>과 같다.

<표 4-3> 통항량이 드문 항로에 대한 각 기준별 편도항로의 폭

(단위 : m)

50,000DWT 일반화물선 기준	결정방법		평 균
항만시설물 설계기준	1L	215	215
PIANC Recommend	3B ~ 4B	96 ~ 128	112
PDPMT	4.5B ~ 6B	144 ~ 192	167.8
Port Engineering	4.6B ~ 5.2B	147.2 ~ 166.4	156.8
Port Development	5B(직선 항로)	160	160
	6B(곡선 항로)	192	192

<표 4-4> 대상선박에 따른 필요 항로의 폭 (우리나라의 경우)

(단위 : m)

항로의 길이	통항 상황	결정방법	
비교적 거리가 긴 항로	대상선박들이 빈번하게 서로 만날 경우	2L	430
	상기 이외의 경우	1.5L	323
상기 이외의 항로	대상선박들이 빈번하게 서로 만날 경우	1.5L	323
	상기 이외의 경우	L	215

준설작업기간 중에 주로 통항하는 대형선박이 50,000DWT인 경우에 준설공사에 따른 임시항로의 폭이 430m이상 되면 안전한 통항에 지장이 없는 것으로 분석되었다. 또한 준설기간 동안에는 12,000TEU급의 선박은 부산신항에 입항하지 못함으로 실제 단선항로의 폭을 최소 430m로 설정하면 대부분의 선박이 안전하게 통항할 것으로 선박통항 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

4.2 가덕수도 임시항로 설정안 및 기타 안전통항대책

4.2.1 가덕수도의 임시항로 설정대안

1. 제1안

가덕수도의 임시항로에 대한 제1안은 준설구간을 전체 항로횡단 구간의 약 1/3로 설정하는 것이다. 이 경우 준설작업은 3단계로 나누어 실시하게 된다. 제1안의 장점은 방향별 430m 이상의 항로폭 등 임시항로에 대한 최소 설계요건을 충족시킬 수 있다는 것이다. 또한 기존의 통항분리대와 입·출항 각각의 항로를 지속적으로 유지할 수 있어 통항하는 선박의 운항자에게 혼동을 줄 수 있는 여지를 방지할 수 있다. 다만 준설구간이 3단계로 구분되어 각 단계로의 이전시점에 충분한 사전예고 및 세심한 관제 등이 필요하다.

2. 제2안

가덕수도의 임시항로에 대한 제2안은 준설구간을 전체 항로횡단 구간의 약 1/2로 설정하는 것이다. 이 경우 준설작업은 2단계로 나누어 실시하게 된다. 제2안의 장점은 준설작업을 위한 공사구간의 변경이 2단계로 단순하고, 설정되는 공사설정구역이 길어져 준설공사를 공간의 제약을 제1안에 비해 상대적으로 덜 받는다는 것이다. 그러나 입항항로구역을 공사구간으로 설정할 경우에 입·출항하는 선박의 유효 항로폭은 출항항로측의 굴곡으로 인해 실제적으로 약 700m 이하가 되어 필요한 최소 각 방향별 430m를 확보할 수 없다. 즉, 출항항로에 등부표(NO 11)가 설치되어 있는 지점이 병목지점이 되며 이는 통항하는 선박의 조선에 부담을 발생시킬 수 있다.

4.2.2 가덕수도의 임시항로 설정 최종안

가덕수도의 임시항로에 대한 최종안은 제1안으로서 기존의 준설작업을 3단계로 나누어 실시함으로써 각 단계별로 설정되었다. 안전통안방안으로서 임시항로의 설정기준은 다음과 같았다. 먼저 선박운항자들의 혼동을 방지하기 위하여 기존의 통항분리대를 유지한다. 둘째, 단선 항로폭은 최소 430m이상으로 한다. 셋째, 기존의 항로표지시설을 가급적 활용한다. 따라서 준설작업을 3단계로 구분하여 실시하도록 하고, 이에 적절한 항로를 배치하였다. 또한 해당 공사구간에 공사구역임을 알리는 공사용 부표를 6개 배치하도록 하였다.

1. 각 단계별 공사기간

각 단계별 공사기간은 다음과 같다.

- 1단계: 2006년 4월 1일 ~ 2006년 4월 30일
- 2단계: 2006년 5월 1일 ~ 2006년 5월 31일
- 3단계: 2006년 6월 1일 ~ 2006년 6월 30일

2. 각 단계별 준설구간

각 단계별 준설구간은 다음 <그림 4-5>과 같다. 입항기준으로 좌측부터 준설을 시작하여 우측방향으로 구간을 이동하면서 준설을 수행하는 것을 바람직할 것으로 판단되었다. <그림 4-5>에서 각 구간길이의 단위는 미터이며, 준설구간의 횡단중심선을 기준으로 산출한 것이다.

3. 각 단계별 임시항로 배치 및 공사부표 배치도

가. 1단계

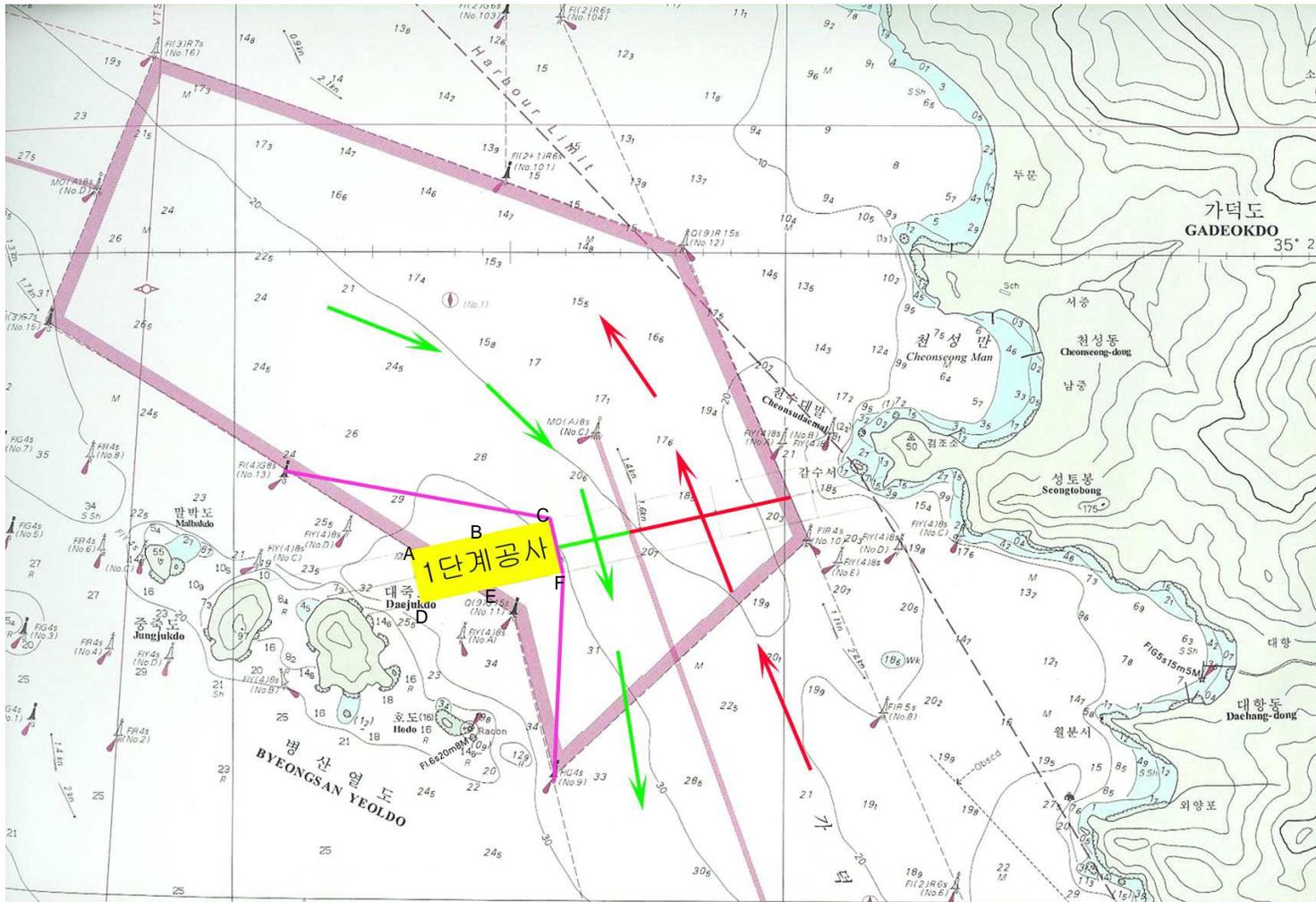
1단계에는 대죽도에서 500m떨어진 지점에서부터 동방향으로 760m 구간을 준설하는 단계이다. <그림 4-6>과 같이 출항항로의 외측선은 기존 13번 등부표(no 13), 공사부표 C, 공사부표 F, 기존 9번 등부표(no 9)를 잇는 외측선으로 설정하였다. 입항항로는 기존 항로로 유지된다. 이 경우에 출항항로의 폭은 450m가 된다.

<표 4-5> 공사 1단계 부표위치

부표번호	설치위치(WGS-84)	
	위도	경도
A	35°01' 04.0"	128°46' 39.0"
B	35°01' 07.0"	128°46' 53.5"
C	35°01' 10.0"	128°47' 08.0"
D	35°00' 55.0"	128°46' 41.0"
E	35°00' 57.7"	128°46' 56.5"
F	35°01' 00.5"	128°47' 10.0"

나. 2단계

2단계는 통항분리대로부터 좌우 총 910m를 준설하는 단계이다. <그림 >과 같이 출항항로의 좌측선은 기존 C번 등부표(no C), 공사부표 A, 공사부표 E 그리고 기존 9번 등부표(no 9)와 8번 등부표(no 8)를 연결했을 때 통항분리대와 만나는 지점을 잇는 외측선으로 설정하였다. 입항항로의 좌측선은 기존 C번 등부표(no C), 공사부표 D, 공사부표 H, 그리고 기존 9번 등부표(no 9)와 8번 등부표(no 8)를 연결했을 때 통항분리대와 만나는 지점을 잇는 외측선으로 설정하였다. 이 경우에 출항항로의 폭은 590m이며, 입항항로의 폭은 460m이다.



<그림 4-6> 1단계의 임시항로 배치 및 공사부표 배치도

<표 4-6> 공사 2단계의 부표위치

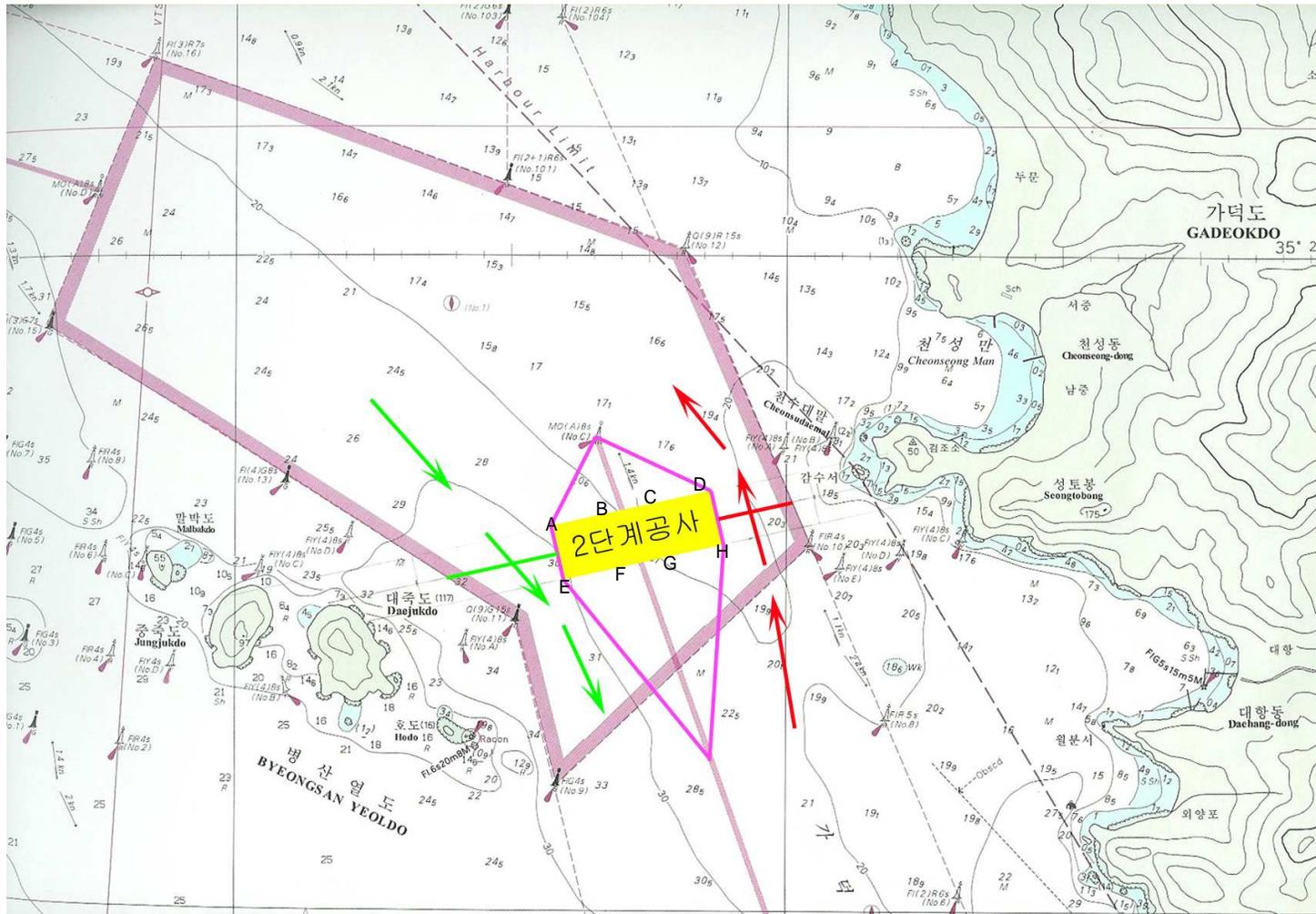
부표번호	설치위치(WGS-84)	
	위도	경도
A	35°01 ' 10.0 "	128°47 ' 08.0 "
B	35°01 ' 11.8 "	128°47 ' 19.3 "
C	35°01 ' 13.6 "	128°47 ' 30.6 "
D	35°01 ' 15.5 "	128°47 ' 42.0 "
E	35°01 ' 00.5 "	128°47 ' 10.0 "
F	35°01 ' 02.3 "	128°47 ' 21.6 "
G	35°01 ' 04.1 "	128°47 ' 32.9 "
H	35°01 ' 06.0 "	128°47 ' 44.5 "

다. 3단계

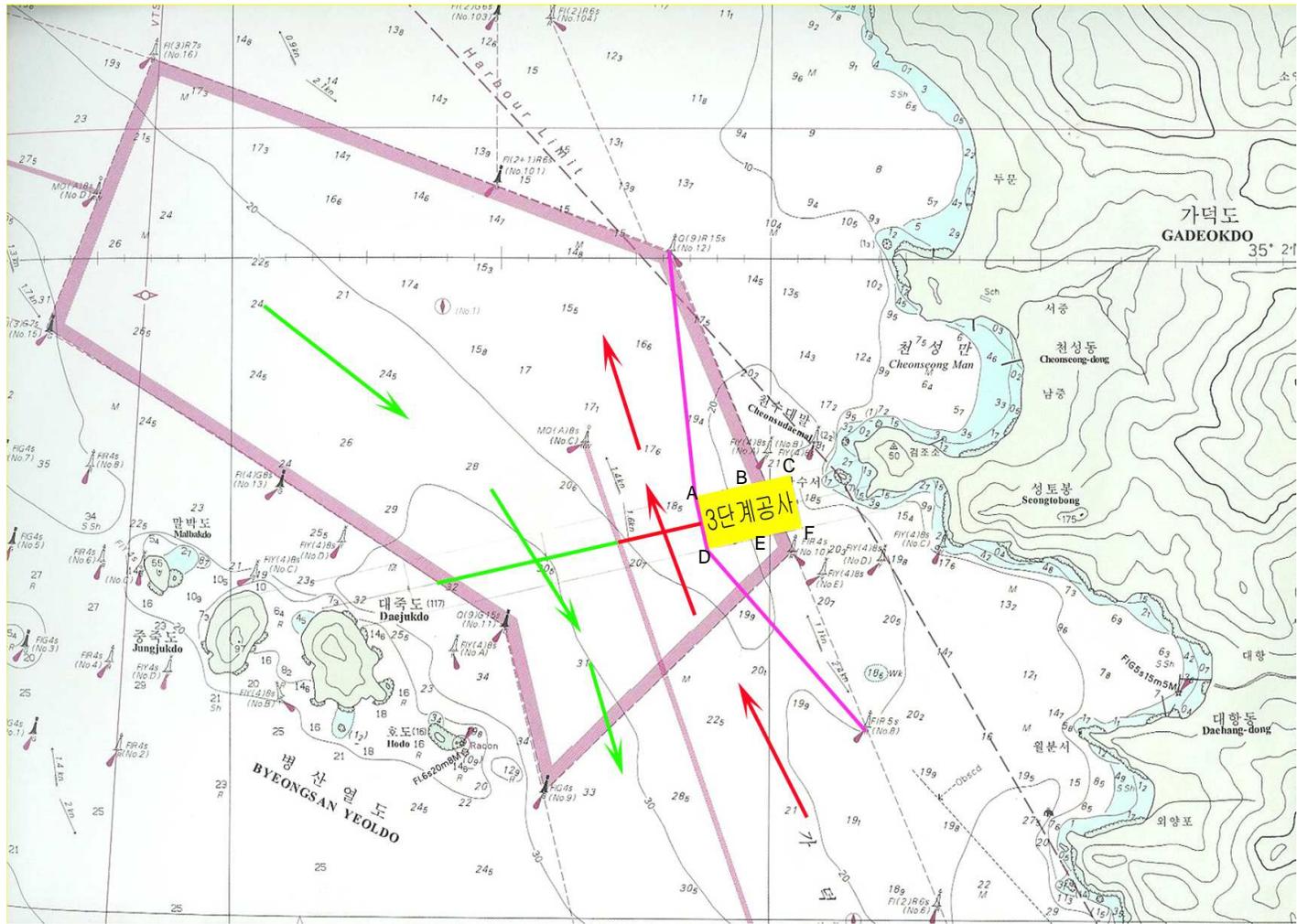
3단계는 감수서에서 400m떨어진 지점에서부터 서방향으로 600m 구간을 준설하는 단계이다. <그림 >과 같이 입항항로의 좌측선은 기존 12번 등부표(no 12), 공사부표 A, 공사부표 D, 기존 8번 등부표(no 8)를 잇는 외측선으로 설정하였다. 출항항로는 기존 항로로 유지된다. 이 경우에 입항항로의 폭은 430m가 된다.

<표 4-7> 공사 3단계의 부표위치

부표번호	설치위치(WGS-84)	
	위도	경도
A	35°01 ' 15.5 "	128°47 ' 42.0 "
B	35°01 ' 17.7 "	128°47 ' 54.0 "
C	35°01 ' 20.0 "	128°48 ' 06.0 "
D	35°01 ' 06.0 "	128°47 ' 44.5 "
E	35°01 ' 08.5 "	128°47 ' 56.3 "
F	35°01 ' 11.0 "	128°48 ' 08.0 "



<그림 4-7> 2단계의 임시항로 배치 및 공사부표 배치도



<그림 4-8> 3단계의 임시항로 배치 및 공사부표 배치도

4.2.3 관련법의 검토

해상교통안전법은 선박의 안전운항을 위한 안전관리체제를 확립하고, 해상에서 일어나는 선박항행상의 모든 위험과 장애를 제거함으로써 해상에서의 안전 및 원활한 교통을 확보함을 목적으로 하는 법이다. 해상교통안전법 제48조(공사 또는 작업)에서는 교통안전특정해역에서 해저파이프라인의 부설, 준설 등 선박의 항행에 지장을 줄 우려가 있는 공사 또는 작업을 하고자 하는 자는 해양경찰청장의 허가를 받도록 정하고 있다. 이 규정은 해상교통이 폭주하는 특정해역에 있어서 해상, 해중, 해저공사 또는 공작물의 설치로 해상교통에 위험을 줄 수 있음을 예방하기 위하여 그 공사를 허가제로 운영되고 있다.

본 연구의 신행항로는 해상교통안전법 제50조의 규정에 의해 부산지방해양수산청 고시 제150호로 항로가 지정되어 있다. 본 연구의 공사구역은 해상교통안전법 시행령 제4조(교통안전특정해역의 범위)의 별표2와 같이 교통안전특정해역에 해당된다. 따라서 공사 및 이에 따른 항로표지를 설치하기 위해서는 해양경찰청장의 허가, 해양수산부장관의 고시가 필요하다.

4.2.4 기타 안전통항 대책

부산-거제간 침매터널구간의 준설작업에 따른 안전통항방안으로서 임시항로의 운영에 대한 기타 안전통항대책은 다음과 같다.

1. 준설선이 준설구역에서 작업하는 동안 VTS센터의 적극적인 관제를 수행하며, 이에 준설선은 반드시 관제에 따르도록 한다.
2. 준설선은 주간의 형상물과 야간의 야간등화를 통해 준설선임을 표시한다.
3. 가덕수도를 항행하는 선사 및 선박 운항자, 기타 항로 이용자에게 고시한다.
4. 공사용 등부표의 설계 시 최대 파랑을 고려하여 설계한다.
5. 태풍의 내습 시 작업 선박이 신속하게 피항할 수 있는 항을 확인하여 비상시를 대비 할 수 있도록 한다.

6. 12월에서 4월에는 풍속이 강한 날이 상대적으로 많으므로 공사 및 통행에 주의를 요할 필요가 있으며, 여름에는 태풍의 영향을 많이 받으므로 기상정보 확인을 통해 안전한 통행이 될 수 있도록 만전을 기한다.
7. 안개나 농무 등 기타 시계불량 시를 대비한 대책을 마련한다.
8. 전체공사 구간이 입체적으로 보일 수 있도록 동기점멸식의 등부표의 도입도 필요하다.
9. 사고 발생 시 항로의 마비를 피할 수 있도록 사고선의 처리 방안 또는 항로의 여유폭이 마련되어 있어야 한다.

제5장 결 론

본 연구는 교통안전특정해역인 가덕수로에서의 침매터널 공사에 따라 항로점유가 불가피함으로 가덕수로의 안전통항방안을 연구함으로써 다른 공사에도 임시항로설정 및 안전통항방안에 대한 도움을 주고자하는 목적으로 진행하게 되었다.

해상 공사 중 안전통항방안을 위한 대책마련을 위해서 먼저 건설공사 현황을 파악하였으며 자연환경조사, 해양환경조사, 해상교통량조사를 통해 해상교통 혼잡도 평가를 진행하였다. 혼잡도 평가는 수로의 교통용량을 계산하고, 충돌의 위험도를 이론적으로 평가한다. 이를 바탕으로 공사에 따른 임시항로를 설정하는 과정으로 연구를 진행하였다.

통항용량을 확인하기 위한 선박통항 가능척수 및 입출항 소요척수를 비교한 결과는 다음과 같다. 이는 가덕수로의 선박통항 가능척수 및 예측교통량을 비교한 것이다.

- (1) 가덕수로의 연간 선박통항 가능척수(단선항로 기준): 62,220(척/년/주간)
- (2) 가덕수로의 입·출항 예측교통량(단선항로 기준): 8,964(척/년/주간)

준설공사기간인 2006년에는 상대적으로 통항량이 많은 주간 중에 부산 가덕수로로의 선박수요가 부산 가덕수로의 최대통항능력에 대비하여 14.4%로서, 통항용량이 충분할 것으로 예상된다. 또한 준설기간이 여타의 문제로 인하여 공사기간이 연기나 연장되더라도 통항용량은 충분할 것으로 판단되었다.

따라서 준설작업으로 인한 가덕수로의 각 입·출항별 단선항로를 운영하더라도 해상교통량으로 인한 교통혼잡이 발생되지 않을 것으로 판단되어 1차, 2차, 3차 구간으로 구분하여 단선항로로 임시항로를 설정하였다. 각 임시항로별로 항로의 폭은 준설작업기간 중에 주로 통항하는 대형선박이 50,000DWT인 경우를 가정하여 준설공사에 따른 임시항로의 폭이 430m이상 되면 안전한 통항에 지장이 없는 것으로 분석되었다. 또한 준설기간 동안에는 12,000TEU급의 선박은 부산신항에 입항하지 못함으로 실제 단선항로의 폭을 최소 430m로 설정하면 대부분의 선박이 안전하게 통항할 것으로 선박통항 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

가덕수로의 임시항로 설정에 따른 통항안전대책을 간략화하면 다음과 같다.

- (1) 가덕수도의 임시항로는 단선항로로 운영가능함으로 각 방향별 단선으로 임시항로를 설계하였다. 항로폭은 최소 430m이상으로 설정하였으며, 총 3 단계의 준설공사에 적절한 항로를 배치하였다.
- (2) 각 단계별 공사구간에는 6개의 공사부표를 구역 전후에 설치하여 야간에 항해하는 선박에 준설구간임을 확인할 수 있도록 한다. 동기점멸 방식을 사용할 경우 구간에 대한 인식이 조금 더 효과적일 것이다..
- (3) 임시항로의 고시와 함께 부산신항의 VTS센터가 준설선을 적극적으로 관제하여 준설선의 준설작업에 따른 가덕수도의 선박통항에 지장을 최소화한 것으로 하는 것이 필요하다.
- (4) 기존의 통항분리대와 입,출항 각각의 항로를 지속적으로 유지할 수 있게하여 통항하는 선박에게 혼돈의 여지를 최소화 하였다.

본 연구의 대상인 가덕수로의 경우 항로의 폭이 넓고 수심이 충분하여 통항용량이 충분한 경우이므로 단선항로로 3구역으로 나누어 공사를 진행하는 것이 가능하였으나, 항로폭 자체가 좁은 해역 또는 수심이 낮은 지역, 장애물이 있는 해역에서는 더욱 세심한 임시항로 설정 및 안전통항대책이 요구되어 진다. 항로가 복잡한 해역 및 좁은 해역에서의 공사 중 안전통항방안 연구는 차후 진행하여야 할 과제이다.

참고문헌

1. 기상청, 기상연보(1984~2005년), 기상청
2. 기상청, 태풍백서(1904~2005년), 기상청
3. 해양수산부, “부산 신항 항로표지 배치 및 실시설계 연구용역(2003.12)”, 해양수산부
4. 임진수, “항행수로 능력산정 모형검토(1990)”, 대한교통학회지 제 8권 1호
5. 해양수산부 “항로표지업무편람(2006)”, 해양수산부
6. 해양수산부 “항로표지법 시행규칙 [일부개정 2006.6.26 해양수산부령 제 340호]”, 해양수산부
7. 장석, 반석호, “선박의 이해”, 한국해양연구원, 2002
8. 박진수, “해상교통공학”, 한국해양대학교해사도서출판부, 2001
9. 해양수산부, “해양수산통계연보(2007)”, 해양수산부
10. 이은방, “해상교통안전공학”, 한국해양대학교
11. 김창제 외8명 편저, “선박조정 시뮬레이션 실무(중급)”, 세종출판사, 2002
12. 이석주 외2명 “부산거제간 연결도로 설계 와 시공”, 유신기술회보 제13호
13. 국립해양조사원, “조석표(2003~2005)”, 해양수산부
14. 이석주 외 2명, “부산-거제간 연결도로 침매터널 설계와 시공”, 유신기술회보 제13호

감사의 글

무엇인가 완전히 익히기에는 짧은, 그렇지만 지식의 미천함을 자각하기엔 충분했던 3년이란 시간이 흘러, 어느덧 감사의 글을 적을 때가 되었습니다. 남들에게는 2년이란 시간이면 충분했겠지만 저에게는 3년이란 시간 또한 짧았던 것 같습니다. 그간 저에게 힘이 되어준 모든 분들에게 감사의 뜻을 전하고자 합니다. 우선, 이 논문을 쓸 수 있도록 지도해 주시고 격려해 주신 국승기 교수님께 진심으로 감사드립니다. 먼저 술선수범 하시는 모습과, 행동하는 자만이 성공할 수 있다는 가르침으로 제 열정에 불을 지피 주셨고 꿈을 키워 주셨습니다. 그 가르침대로 스스로에게 부끄럽지 않도록 정진하겠습니다. 또한, 바쁘신 일정에도 불구하고 논문 심사를 맡아주신 이은방 교수님과 설동일 교수님께 감사드립니다.

물심양면으로 도움을 주신 안전환경 연구실 박영남 박사님, 김정훈 박사님께 감사의 마음을 전합니다. 특히, 이 일을 시작하도록 허락해 주시고 항상 따뜻한 관심과 격려를 해주신 뉴마린엔지니어링(주) 대표이사 고영식 사장님께 감사드립니다.

끝으로 항상 저의 곁에서 저를 사랑으로 지켜준 사랑하는 아내와 아들 휘, 지금의 제가 있도록 낳아 길러주시고 끝없는 사랑으로 묵묵히 저를 뒷바라지 해주신 부모님께 제 작은 결실을 바칩니다.