

공학석사 학위논문

# 낙동강 수로 개발에 관한 연구

A Study on the Development of Canal in  
Nakdong-River

지도교수 김 창 제

2002年 1月

한국해양대학교 대학원

해사수송학과

박 철 규

본 논문을 박철규의 공학석사  
학위논문으로 인준함.

위원장 채 양 범 (인)

위원 예 병 덕 (인)

위원 김 창 제 (인)

2002년 1월

한국해양대학교 대학원

해사수송과학과

박 철 규

## [ 목 차 ]

Abstract .....	IV
제 1 장 서 론 .....	1
제 2 장 낙동강의 현황 .....	3
2.1 수로 폭과 평균수심 .....	4
2.2 유속과 유량 .....	7
2.3 낙동강의 시설물 .....	8
제 3 장 국내외의 내륙 수로 개발 .....	10
3.1 유럽 .....	10
3.2 경인운하 .....	14
제 4 장 수로 결정 규정 검토 .....	17
4.1 항로의 폭과 배치에 관한 규정 .....	17
4.2 항로의 수심에 관한 규정 .....	29
제 5 장 항행 바지와 항행 수로 .....	40
5.1 컨테이너 화물 .....	40
5.2 항행 바지선 .....	43
5.3 항행수로 폭 .....	44
5.4 항행수로 수심 .....	46
5.5 만곡부의 곡률반경 .....	47
5.6 낙동강 수로 단면 .....	48
제 6 장 결론 .....	49
참고문헌 .....	50

## [ 표 차 례 ]

<Table 2-1 수로 폭과 평균수심> .....	4
<Table 2-2 유속과 유량> .....	7
<Table 2-3 Navigation Dock의 규모> .....	8
<Table 2-4 낙동강 본류의 횡단교량> .....	9
<Table 3-1 유럽표준 운하의 규격과 운항 방법> .....	11
<Table 3-2 내륙 수로 항만> .....	12
<Table 3-3 경인 운하 계획> .....	16
<Table 4-1 우리나라의 항만 시설물 설계 기준상의 항로폭> .....	27
<Table 4-2 참고 선박의 제원> .....	38
<Table 4-3 비중에 따른 흘수의 증가> .....	38
<Table 5-1 컨테이너 제원> .....	41
<Table 5-2 항로 설계 기준의 항로폭> .....	44
<Table 5-3 항로 설계 기준의 만곡구간 수로 폭> .....	45
<Table 5-4 항로 설계 기준의 항로 수심> .....	46
<Table 5-5 항로 설계 기준의 만곡부 곡률반경> .....	47

## [ 그림 차례 ]

<Fig. 2-1 낙동강 수로망> .....	3
<Fig. 2-2 낙동강본류의 횡단면도(경남 밀양시 초동면 반월리 : 61.3km)> .....	5
<Fig. 2-3 낙동강본류의 횡단면도(경남 창녕군 부곡면 학포리 : 65.3km)> .....	5
<Fig. 2-4 낙동강본류의 횡단면도(경남 창녕군 도천면 송진리 : 80.2km)> .....	6
<Fig. 2-5 낙동강본류의 횡단면도(경남 창녕군 이방면 성산리 : 109.4km)> .....	6
<Fig. 2-6 낙동강본류의 횡단면도(경북 달성군 구지면 대암리 : 122.1km)> .....	7
<Fig. 2-7 낙동강의 갈수기 유량> .....	8
<Fig. 3-1 RMD이하의 정규단면> .....	13
<Fig. 3-2 경인운하 지역 개황도> .....	14
<Fig. 3-3 경인운하 횡단면도> .....	14
<Fig. 4-1 항로폭(PIANC rule)> .....	19
<Fig. 4-2 미국 항만시설물 설계 기준상의 항로폭> .....	22
<Fig. 4-3 만곡부에서 항로폭 증가 방법> .....	25
<Fig. 4-4 항로 만곡부의 배치> .....	28
<Fig. 4-5 PIANC rule에서의 항로 수심> .....	31
<Fig. 4-6 파도의 영향이 있는 경우 항로의 수심> .....	32
<Fig. 4-7 파도로부터 보호된 경우의 항로 수심> .....	32
<Fig. 4-8 선체 침하값 $d$ 의 계산표> .....	34
<Fig. 4-9 항로의 수심> .....	37
<Fig. 5-1 부산신항 조감도> .....	40
<Fig. 5-2 낙동강 수로 단면> .....	48

# A Study on the Development of Canal in Nakdong-River

chul-ku, Park

*Department of Maritime Transportation  
Graduate School,  
Korea Maritime University*

## Abstract

All the nations that utilized well the water and waterways have been prospered from the ancient civilization to the present. Even now, the advanced nations such as the United States of America and several European countries have been contributing much to the national economy by utilizing waterways well. However, our country has utilized rivers only transportation means of materials but at present, as the roads have been constructed depending almost upon the

purpose of transportation of materials instead, it is determined that construction of road is no longer able to be made and reached to the limit due to increase of construction cost of roads and encroachment of national land. At the same time a harmful influence has been given upon the envelopment caused by hazardous materials that are discharged from vehicles. The advanced European countries have been not only transporting cargoes using small size ships through waterway from the land to harbor but also earning a lot of tourist income through waterway sightseeing.

Nakdong river is the longest in our country connecting to the inland area. In order to eliminate excessive construction cost and to promote smooth transportation of materials by utilizing the waterways well as transportation means in our country, some researchs on practical use of Nakdong river need to be conducted. Especially, in consideration of the situation such as the depth and width of the river, and based on the situation, the river development has to be carried out.

Therefore, this study aims to investigate the possibility on the canal development of Nakdong river in view of engineering point.

The actual utilization of waterway of our country, development of transportation means using waterways should be made for the future.

## 제 1 장 서 론

과거 우리나라의 교통로는 일반인의 생활편의보다는 통치 및 군사적 수단으로 개발되었기 때문에 육·수로 교통이 크게 발달한 편은 아니었다. 육로는 주로 나라의 통신로로 사용되었으며 화물수송은 육로보다 수로에 더 의존하였다. 수로운송은 한강, 예성강과 낙동강 등 중·남부지방의 큰 강에서 성행하였다. 소금과 해산물이 강을 거슬러 중·상류 지방으로 전해지고 곡물과 목재 등 내륙의 생산품이 강 아래로 수송되었다. 수로는 물자의 수송뿐만 아니라 사람의 왕래도 도왔으므로 하천유역을 따라 하나의 문화권이 자연스럽게 형성되었다. 배가 닿는 나루터에는 일종의 부정기시장인 ‘갯벌장’이 섰으며, 이것은 큰 마을로 성장하기도 하였다.

낙동강은 우리나라 중요 4대 강의 하나로써 생선, 소금 및 원목 등을 수송하는 수로로 활발히 이용되어 내륙수송의 중추적인 역할을 담당해 왔다. 지금도 낙동강은 영남지방의 식수 및 용수를 공급하는 영남의 젖줄기의 역할을 하고 있지만, 앞으로 효과적이고 종합적인 개발을 서둘러야 할 것이다.

수로를 활용한 나라 가운데 빈곤한 나라가 없을 정도로 강은 인간에게 생활의 풍요로움과 친수 공간을 제공하였다. 독일의 경우, 엘베강을 준설·개발하여 선박이 운항되고 있으며 여기에서 운항되고 있는 관광유람선은 독일의 자랑거리로 자리잡고 있다.

경제발전예 따라 내륙 수운의 개발 가능성은 점점 더 커지고 있다. 경제가 성장하여 미래로 갈수록 내륙 수운에 더 큰 가치를 부여하게 될 것이므로, 낙동강 수로건설의 타당성을 검토해 보는 것은 의미가 있는 일이다. 낙동강 수로를 이용하면 현재 대량운송의 혜택을 받지 못하는 내륙지역이 바다와 연결되어 물류 활성화의 전기를 맞이할 것이다. 또한 저렴한 물류비용, 육상물류의 수로 운송 전환에 따른 물류개선 효과가 뒤따를 것이다. 무엇보다도 수로운송은 환경 친화적이므로 국토보전측면과 연관시켜 개발할 필요가 있다.

따라서 이 연구는 낙동강 수로 개발의 타당성을 고찰하고자 한 것으로, 수로개발에 있어서 수로의 경제성, 수질보전방안 및 종합정비 방안 등은 장기간에 걸쳐 철저히 검토되어야 할 것이다(경남개발연구원, 1996, 한국 건설기술 연구원, 1990, 세종연구원, 1995).

## 제 2 장 낙동강의 현황

낙동강은 강원도 태백시 함백산에서 발원하여 반변천, 내성천, 금호강, 황강, 남강 및 밀양강 등을 합류하면서 영남지방의 중앙저지를 흘러 남해로 유입하는 총 연장 약 525km의 남한에서 제일 긴 강이다(Fig. 2-1 참조). 낙동강 유역은 안동, 구미, 대구 및 부산 등 대도시의 생활권이며, 낙동강의 본류 또는 지류에 축조된 안동댐, 임하댐, 합천댐, 하구언 등의 다목적 댐에서 전력, 생활용수, 농업용수, 공업용수 등이 낙동강 유역에 공급되고 있다. 낙동강의 유역면적은 전국토의 약 33%, 그 유역에 상주하는 인구는 전 국민의 약 20%, 낙동강유역의 GRP(Gross Regional Product)는 국민 총 GNP의 약 32%로, 낙동강은 영남지방의 젖줄과 같은 역할을 하고 있다. 또한 하상의 경사가 완만하기 때문에 과거에는 안동까지도 선박의 통항이 가능했으며, 영남지방의 내륙 수로 교통의 동맥 구실을 하였다.



Fig. 2-1 낙동강 수로망

## 2.1 수로 폭과 평균 수심

Table 2-1은 낙동강을 황강 합류지역, 남강합류지역, 밀양강 합류지역, 하구언으로 3개의 구간으로 나누어 평수기와 갈수기 때의 수로 폭과 평균 수심을 나타내었다. 각 구간은 비교적 수로 폭이 넓고, 수심이 깊기 때문에 수로 개발에 적당한 조건을 갖추고 있다. 그러나 갈수기와 평수기의 수로 폭과 평균 수심의 차이가 크기 때문에 연중 일정한 수로 폭과 수심을 유지 할 수 있는 조치가 필요하다.

Table 2-1 수로 폭과 평균수심

	수로 폭 (갈수기)	평균수심 (갈수기)	수로 폭 (평수기)	평균수심 (평수기)
황강합류지역 ~남강합류지역	120~154m	1.3~1.5m	140~206m	1.4~2.9m
남강합류지역 ~밀양합류지역	120~164m	1.7~2.0m	217~320m	1.2~3.8m
밀양합류지역 ~하구언	450~600m	1.6~5.2m	495~630m	5.2~7.0m

Fig. 2-2 ~ Fig. 2-6은 낙동강 하구언에서 60.7km 이후의 상류지역에서 수심이 얕아 선박운항이 곤란한 지점의 횡단면도 일부를 나타낸다. 즉, 낙동강 하구언에서 0~60.7km구간은 선박운항 충분히 가능하므로 생략하였다. Fig. 2-2는 경남 밀양시 초동면 반월리 부근(61.3km)이며 초동면 반월리 곡강 입구의 상류 600m지점, Fig. 2-3은 경남 창녕군 부곡면 학포리 부근(65.3km), Fig. 2-4는 경남 창녕군 도천면 송진리 부근(80.2km), Fig. 2-5는 경남 창녕군 이방면 성산리 적포교(110.1km)하류 700m 지점(109.4 km), Fig. 2-6은 경북 달성군 구지면 대암리(122.1km)이다.

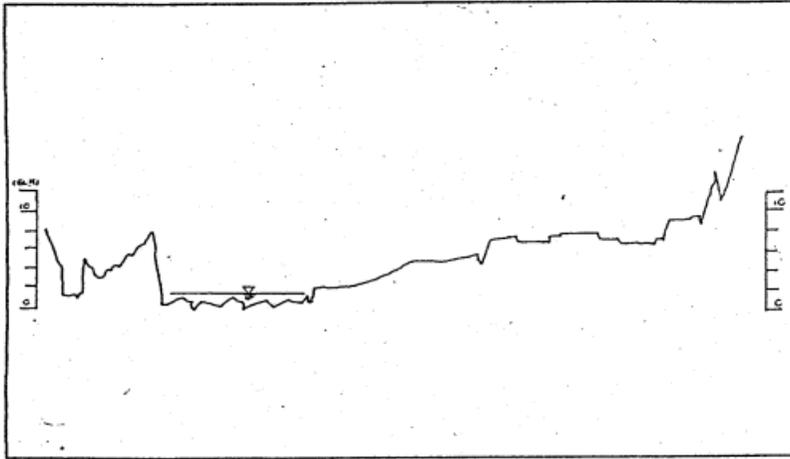


Fig. 2-2 낙동강본류의 횡단면도  
 (경남 밀양시 초동면 반월리 : 61.3km)

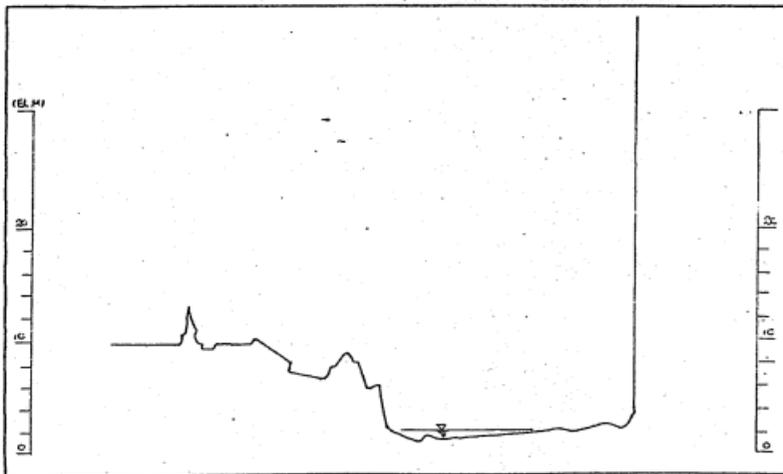


Fig. 2-3 낙동강본류의 횡단면도  
 (경남 창녕군 부곡면 학포리 : 65.3km)

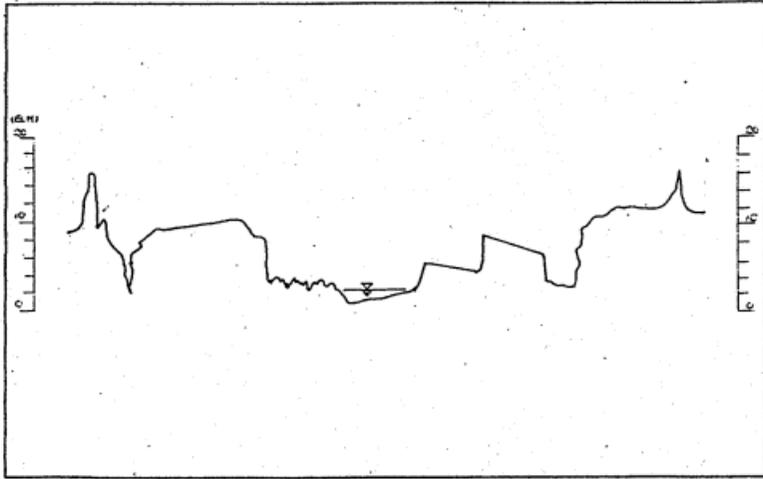


Fig. 2-4 낙동강본류의 횡단면도  
(경남 창원군 도천면 송진리 : 80.2km)

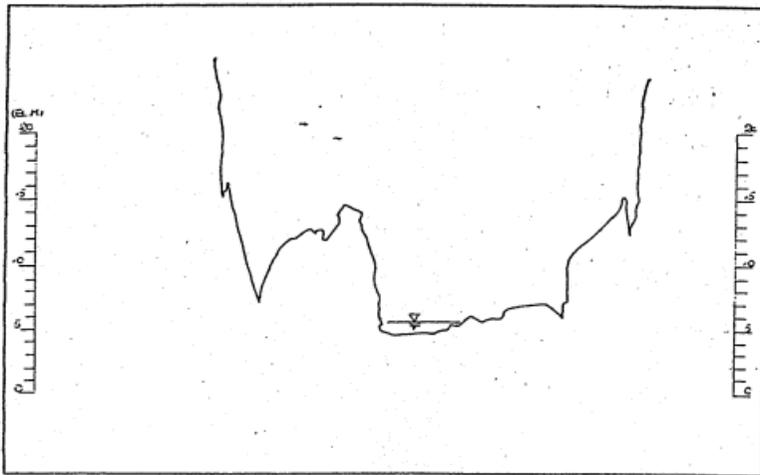


Fig. 2-5 낙동강본류의 횡단면도  
(경남 창원군 이방면 성산리 : 109.4km)

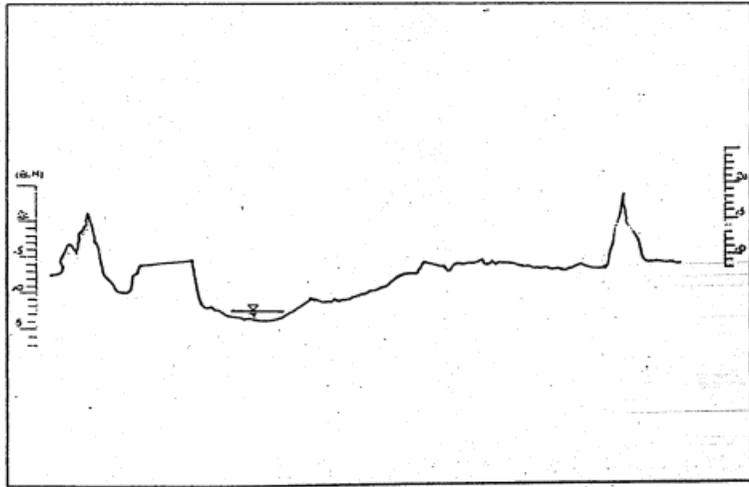


Fig. 2-6 낙동강 본류의 횡단면도  
(경북 달성군 구지면 대암리 : 122.1km)

## 2.2 유속과 유량

Table 2-2는 낙동강 본류의 유속과 유량을 3개의 구간으로 나누어 나타낸 것이다. 갈수기 및 평수기 둘 다 유속이 작으므로 선박운항에 있어서는 좋은 조건이 된다. 그러나 유량은 갈수기와 평수기의 차이가 크기 때문에 유량을 일정하게 유지하기 위한 조치가 필요하다(경남개발연구원, 1996).

Table 2-2 유속과 유량

	유속 (갈수기)	유량 (갈수기)	유속 (평수기)	유량 (평수기)
황강합류지역 ~ 남강합류지역	1~0.3m/s	51~57m <sup>3</sup> /s	0.4~1.0m/s	200~210m <sup>3</sup> /s
남강합류지역 ~ 밀양합류지역	0.3m/s	70~71m <sup>3</sup> /s	0.5~0.6m/s	360~372m <sup>3</sup> /s
밀양합류지역 ~ 하구언	0.1m/s	130~133m <sup>3</sup> /s	0.09m/s	286~301m <sup>3</sup> /s

수로를 정상적으로 운영하려면 풍부한 유량( $m^3/s$ )을 확보해야 한다. 유량은 단면적 또는 유속이 크면 커진다. 수로에 있어 유량보다는 단위 길이 당 존재하는 물의 양( $m^3/m$ )이 중요하다. 뒤에서 설명하는 수로단면을 고려하면, 수로 내에는  $198.3m^3/m$ 의 물이 항상 존재해야 한다. 참고로, Fig. 2-7은 낙동강 하구에서 구미까지 209km간의 갈수기 유량( $m^3/s$ )을 나타낸다. 횡축은 하구로부터의 거리(km), 종축은 갈수기 유량이다. 갈수기 유량은 상류로 갈수록 감소하는 경향을 보인다(해사산업연구소, 1997).

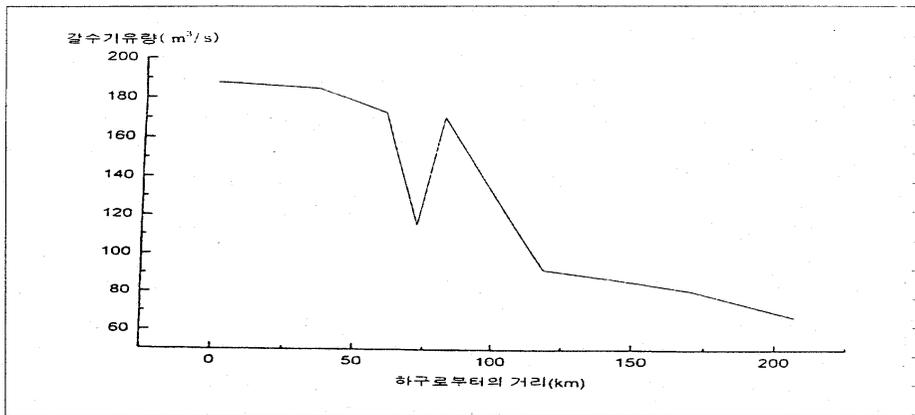


Fig. 2-7 낙동강의 갈수기 유량

### 2.3 낙동강의 시설물

Table 2-3은 낙동강에 있는 시설물중 하나인 낙동강 하구언의 Navigation Dock의 제원을 나타낸 것으로 길이 50m, 폭 9m 및 높이 (Dock바닥에서 교량하부까지의 간격) 10m이며 수로 개발시 충분한 검토를 해야할 항목이다.

Table 2-3 Navigation Dock의 규모

	길이 (m)	폭 (m)	높이 (m)	비고
Dock 규모	50	9	10	물이 없을 때의 공중 간격

하구언에서 달성군 구지면 대암리까지의 122.1km 구간에서 낙동강 본류를 횡단하는 교량은 1991년 9월 1일 기준으로 낙동대교, 낙동수관교, 구포교, 제 2 낙동대교, 낙동철교, 삼랑진교, 순산교, 남지대교, 신남지대교, 남지교, 적포교(신), 적포교(구) 등이 있다. 이외에도 1991년 이후 건설되었거나 건설예정인 제 3 고속도로 낙동강 교량, 구포대교, 양산-서부산간 고속도로 교량, 수산대교, 창녕 낙동가교 등이 있다.

Table 2-4 낙동강 본류의 횡단교량

교량 이름	하구언으로부터의 거리(km)	강바닥에서 교량하부까지의 높이(m)	공중간격(m)
낙동대교	3.4	19.5	8.2
낙동수관교	10.5	20.9	9.4
구포교	12.3	20.4	8.5
제2낙동대교	13.6	21.6	11.2
낙동 철교	45.1	19.7	13.7
삼랑진교	45.3	19.5	10.9
순산교	59.2	20.8	15.1
남지대교	81.4	18.1	14.5
신남지대교	81.7	29	16.8
남지교	83.3	20.9	13.6
적포교(신)	110.1	19.3	16.8
적포교(구)	110.1	20	14.5

Table 2-4에서 알 수 있듯이 횡단교량의 공중간격은, 수심(또는 수량)에 따라서 차이가 있겠지만 8.2m(낙동대교) 이상이다. 횡단교량의 경간은, 구포교가 일제시대에 건설되었기 때문에 16m로 가장 작으며 그 이외의 교량의 경간은 16m 이상이다(해사산업연구소, 1997).

## 제 3 장 국내외의 내륙 수로 개발

선진국에서 강은 용수공급의 목적 외에 휴양지, 관광지, 수상스포츠 장소 등으로 활용되고 있을 뿐만 아니라 관광객, 화물 등을 수송하는 내륙 교통의 일부를 담당하는 역할을 하고 있다. 특히 흐름이 완만한 테임즈강, 라인강, 엘베강, 볼가강, 미시시피강 등은 용수원과 수로를 잘 조합시킨 예다. 일본의 경우 강을 수로로 개발한 것은 아니지만, 오사카만과 일본 내해는 대규모 내항해운(내수수로)이 매우 발달하여 화물운송에 관한 한 육상의 도로나 철도 기능을 대부분 흡수하고 있다.

### 3.1 유럽

#### 3.1.1 유럽의 수로망

서유럽의 수로망은 전장이 25,500km로, 이중 75%정도가 천연수로이고 나머지 25%가 인공수로이다. 천연수로에는 일부 해협도 포함되어 있다. 예를 들면, 프랑스의 내륙수로선으로 세느강과 도버해협을 지나 파리-영국사이에 취항하고 있는 선박이 4척인데 이 선박들은 바다를 통항하고 있다. 유럽의 내륙수로는 유럽 표준형 항행선박이 통항할 수 있게 크기에 따라 1~6등급(Table 3-1참조)으로 나누었다. 최대급인 5~6등급의 수로에는 바지 6개를 연결한 1만DWT(재화중량톤)급이 통항할 수 있다(경남개발연구원, 1996, W.-D. Schmidt, 1994). 수로망의 곳곳에는 '로크'라는 갑문을 설치하여 수위를 조절하고 있다. 예를 들면, 벨기에의 블뤼셀과 샤들로우 사이에는 67m까지의 수위를 조절하는 갑문이 있다. Table 3-2는 유럽의 대표적인 내륙 수로 항만의 특성을 나타낸다. 각 항구의 컨테이너 물동량의 처리는 내륙 수로를 통해 이용되고 있다. 선박이 수로내를 통항하기 위해 갑문을 설치하여 일정 이상의 수심과 유량을 확보하고 있다. 그리고 수로가 유럽 대륙의 중앙에 위치하여 도로, 기차 및 항공운송과 같은 다른 운송 체계와도 연계되고 있어, 실질적인 화물 운송의 효율을 높이고 있다(경남개발연구원, 1996).

Table 3-1 유럽표준 운하의 규격과 운항 방법

Class of navigable Waterway	Motor vessels and barges					Pushed units				
	Type of vessel : General characteristics					Type of puscher : General characteristics				
	Designation	Length	Beam	Draft	Tonnage	Designation	Length	Beam	Draft	Tonnage
(1)		m	m	m	T		m	m	m	T
I	Barge	38.50	5.05	2.20	250 · 400					
II	Campine-barge	50 · 55	6.60	2.50	400 · 650					
III	D.E.K	67 · 80	8.20	2.50	650 · 1000					
IV	R.H.K	80 · 85	9.50	2.50	1000 · 1500	1barge E I	85	9.50	2.50	1240
V <sub>a</sub>	Large Rhein Vessels	95 · 110	11.40	2.80	1500 · 3000	1barge E II	95 · 105	11.40	2.80	1850
V <sub>b</sub>						2barge E II	172 · 185	11.40	2.80	3700
VI <sub>a</sub>						4barge E II <sub>a</sub>	185 · 195	22.80	4.50 (3)	8000 · 12000
VI <sub>b</sub>						6barge E II <sub>b</sub>	270 · 195	22.80 · 34.20	4.50 (3) · 4.50 (3)	12000 · 18000 · 12000 · 18000

- 1) The class of waterway is determined by the horizontal of the vessels or pushed units.
- 2) In the Danubian basin, this beam usually is 11m.
- 3) Takes into account the future developments.
- 4) Takes into account a security clearance between the draft if the vessel and the height under the bridges. In case coastal or container traffic, the height under the bridges should be checked.

Table 3-2 내륙 수로 항만

항만 구분	엔트워프항	함부르크항	로테르담항
위치	벨기에 Scheldt강 연안(북해로부터 68km 안쪽에 위치)	독일의 함부르크시 Elbe강 입구	네델란드 로테르담시 북해와 Rhine강 하구
규모	7선석 (컨테이너 선석 기준)	27선석 (컨테이너 전용선석)	17선석 (컨테이너 전용선석)
컨테이너 물동량	250만 TEU (1996년 기준)	307만 TEU	500만 TEU (1996년 기준)
특징	<ul style="list-style-type: none"> <li>-조석 간만의 차가 커서 갑문 및 Dock시설구비</li> <li>-최대조위(+)+7.5m</li> <li>-최저조위(-)1.0m</li> <li>-항로 수심은 가장 얇은 곳이 10m</li> <li>-조류속력은 1.0m~1.5m/sec</li> <li>-다양한 배후연계수송</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-처리 물동량 중 약 40.5%가 극동과 교역</li> <li>-흘수가 큰 선박은 고조시에만 출입</li> <li>-유럽대륙의 중앙에 위치</li> <li>-하천의 수위가 해면보다 0.038m 낮음</li> <li>-암스테르담 스키폴국제공항 인접</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-북해에서 로테르담까지 40km의 강을 따라 항구 발달</li> <li>-유럽 대륙의 중앙에 위치</li> <li>-하천의 수위가 해면보다 0.038m 낮음</li> </ul>
개발 효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>-1995년 컨테이너 물동량 234만TEU와 1996년 250TEU를 취급하여 6.8%의 증가율을 보여 세계 9위로 한단계 상승</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-로테르담에서 처리되는 물동량 등 60%가 네델란드 주변국가의 환적물량으로 관문항 역할 수행</li> <li>-1995년 479만TEU, 1996년 500만TEU를 처리함으로써 평균 연간 40%의 증가율</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-로테르담에서 처리되는 물동량 등 60%가 네델란드 주변국가의 환적물량으로 관문항 역할을 수행</li> </ul>

### 3.1.2 운하의 단면

운하 건설의 중요한 변수는 운하의 단면이다. 일반적으로 운하의 구간에 따라 사용되는 단면은 자연의 강 그대로를 이용하거나 직사각형 혹은 사다리꼴 단면을 사용하게 된다. Fig. 3-1은 유럽표준형 바지선이 운항할 수 있게 설계된 RMD의 단면이다. 수면폭 ( $B_w$ )은 55 m, 하상폭 ( $B_s$ )는 31 m 그리고 수심( $h$ )은 4 m로써 운하의 측면경사는 1 : 3이다. 또한  $B$ 는 선폭,  $f$ 는 바지선 수면하에서의 횡단면적,  $D$ 는 바지선의 흘수를 나타낸다. 바지선 운행에 사용되는 수면폭은  $B_w/\sum B \geq 1.4$  이며, 단면 넓이는  $F/\sum f \geq 2.2$ , 수심  $h = 1.5 \sim 1.75D$ 이다. 4편대와 2편대가 곡선주변에서 만날 확률은 극히 희박하며, 곡선반경이 2000m 미만인 경우는 곡선부위의 운하폭을 약간 넓혀야 한다.

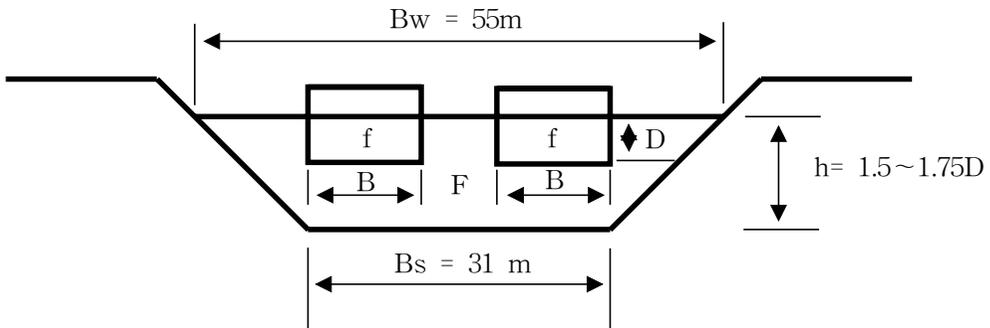


Fig. 3-1 RMD운하의 정규단면

바지선 Eurokahn을 기준 하여 건설된 이 운하는 바지선 운행방식에 따라 2척 선단(185m × 11.4m), 4척 선단(185m × 22.8m)의 운항이 가능하며, 2척 선단을 끌거나 밀 때는 3,000ton(화물차 100대, 화물기차 55량)까지 수송할 수 있다(경남개발 연구원, 1996).

## 3.2 경인 운하

### 3.2.1 경인운하의 개요

Fig. 3-2는 경인운하 공사 구간을 나타내고, Fig. 3-3은 횡단면도를 나타낸다. 경인운하는 2012년까지 2단계로 나누어 8년 6개월의 공사기간을 요하는 대규모 토목사업이다. 사업구간은 인천과 서울 행주대교 하단을 연결하는 총길이 18km, 수심 6m, 폭100m이나 일부 구간은 200m에 이르는 것으로 되어있다.



Fig. 3-2 경인운하 지역 개황도

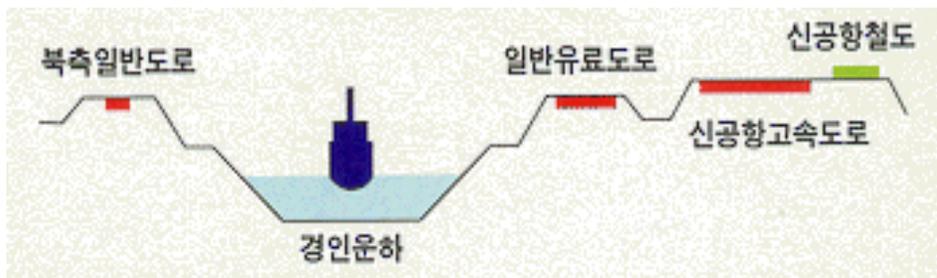


Fig. 3-3 경인 운하 횡단면도

### 3.2.2 선박운항

#### 1) 통항선박

경인 운하의 대상 선박은 컨테이너 피더선과 일반화물선 등이다(Table 3-3 참조). 최대 선박은 연근해 운항 컨테이너 피더선 2,500DWT급이며 제원은 길이 82.8m, 폭 14.8m, 흘수 4.8m이다.

#### 2) 운하폭

대상 선박의 쌍방 통항일 경우 PIANC, 미해군 Design Manual 등에 근거한 운하의 폭은 80m~120m이며, 선박 조종 시뮬레이션 결과에 따라 100m로 계획(곡선부는 150m 내외)되어 있다(해운산업연구원, 1995, 교통개발연구원, 1995).

#### 3) 운하 수심

흘수(4.8m)에 25%의 여유를 추가하여 운하수심(6m)을 계획하고 있다.

Table 3-3 경인운하 계획

사업 구간	인천시 서구(서해안)~ 서울시 강서구 개화동(한강 행주대교 하구)			
화물 수송 계획	대상화물	컨테이너(35%), 철강(15%), 자동차(6%), 해사(44%)		
	처리 물동량	2011년 기준	연간 2,989만톤	
		2021년 기준	연간 4,794만톤	
	대상 선박	컨테이너 피더선 (대상최대전박)	2500톤급	
		일반화물선	2000톤급	
		바지선	900톤급 2열×3단	
선단 (길이 × 폭)		213.2m×23.7m		
시설 규모	주운 수로	길이	약 18km	
		수심	6m	
		수로 저폭	100m	
	갑문(5기)	폭 26m, 길이225m	서울 1기	
		폭 18m, 길이225m	인천 2기 서울 1기 인천 1기	
	하항 시설(3개소)	서울측 56만평 서해측 86만평 해사부도 5만평		
	항로 준설	8.2km(폭 200~300m)		
	터미널간 연결 도로	4차선(15.7km)		
	대체 시설	교량 및 지하차도 8개소 등		
	부 두	27선석		
인천 9선석, 서울 9선석, 모래 9선석				
사업 기간	1단계 공사	4년 6개월(2000~2004년 예정) 1단계건설 후 무상사용 40년		
	2001년도 목표 물량 처리시설	주운수로, 갑문 3기, 부두 12선석 및 대체시설		
	2단계 공사	4년(2009~2012년 예정)		
	2002년도 목표 물량 처리시설	갑문 2기, 부두 6선석		

## 제 4장 수로 결정 규정 검토

PIANC rule, 미국의 항만시설물 설계 기준, 우리나라의 항만시설물 설계 기준에 제시된 관련 설계 기준에 근거한 수역시설 배치계획을 검토하고자 한다.

### 4.1 항로의 폭과 배치에 관한 규정

#### 4.1.1 PIANC rule

##### 1) 항로폭

(1) 항로폭이란 확보된 최저 수심상의 항로의 최소 너비를 말한다.

(2) 편도 항로의 항로폭은 다음으로부터 결정된다.

- ① 항로를 이용할 최대 선박의 선평
- ② 선박의 실제 위치와 이용 가능한 모든 정보, 특히, 항로표지를 이용하여 구한 연속위치의 차 중에서 횡방향 성분의 크기
- ③ 항로로부터의 이탈을 확인한 후로부터 원래의 항로로 돌아가기 위한 수정 동작을 취한 시점까지 발생하는 추가적인 이탈 거리
- ④ 횡방향의 조류를 받으며 편각을 가지고 항해할 경우 항로폭에 다음 값을 추가함 (횡방향으로 부는 바람도 유사하게 고려함).

-  $(L/2) \sin\beta$  ( $L$ :선체의 길이,  $\tan\beta$ =조류속도의 횡방향 성분/선속)

⑤ 좌우현으로 선평의 1/2보다 큰 안전 여유 폭을 고려함.

(3) 따라서 항로의 최소폭은 기본적으로 다음에 의해 결정된다.

- ① 항로를 이용할 가장 큰 선박의 조종 성능 : 통상적으로 충분한 양의 신뢰성 있는 조종성능 자료들을 구할 수가 없기 때문에 특정한 통항 조건하에서의 선박의 yaw와 그에 따르는 침로부터의 이탈량에 관한 일반적인 자료는 제시할 수 없음. 그러나 배가 크면 클수록 타력의 영

항이 커지게 되고 이에 따라 항로의 폭도 넓게 요구됨.

- ② 특정한 항행 환경에 맞게 적절히 설비되어야 하는 여러 가지 항로표지 및 항해 기기들의 특성
- ③ 항로표지의 정확도 및 신뢰성 : 예를 들면 항로의 경계를 표시하는 부표의 실제 위치는 닻 정박 상태의 부정확, sinker를 중심으로 한 이동(회전반경), 그리고 악천후 등으로 인해 해도상의 위치와 다를 수 있다.
- ④ 허용 통항 속도뿐 아니라 교통량 및 교통 특성
- ⑤ Swell, 바람에의 노출정도 등과 같은 해상 및 기상상태, 특성 조류의 성질 및 세기, 그 중에서도 항로의 횡방향 성분에 대한 것이 중요한 요소임. 그리고 항로 전반에 걸친 조류의 변화도 중요한 고려사항임. 급속한 횡조류의 변화가 있는 곳에서는 항로폭에 추가 여유를 주어야 하며, 이는 조류 변화의 크기 및 지속 기간 등에 따라 선폭의 1~2배 정도를 주어야 함.
- ⑥ 항로폭은 특히 선장과 도선사의 경험과 같은 인간적인 요인의 영향을 크게 받음. 대형선의 출입할 수 있도록 하는 기존 항로의 확장과 새로운 항로의 개설에는 큰 차이가 있음.

(4) 현재의 기술 수준으로는 진입 항로의 폭을 결정하는데 영향을 주는 위의 여러 가지 요소들을 부분적으로 평가할 수 있을 뿐이므로 이들의 영향을 종합적이고 정확하게 계산할 수는 없다. 여러 편도 항로에 대한 검토 결과 지역적인 조건 및 환경의 차이에 따라 항로의 최소폭은 Fig. 4-1과 같이 가장 큰 출입선박의 폭의 4~8배, 크기는 10배까지 이를 수 있다. 현재의 유일한 일반적 권고는 항로폭이 가장 큰 선박폭의 5배 이상이다. 이 이유는 육상 장비 및 선박 비치 장비가 고장날 수 있으며 그로 인한 위험이 항상 존재하기 때문이다. 특히, 횡방향 조류가 있는 경우는 항로폭이 더 커야 한다.

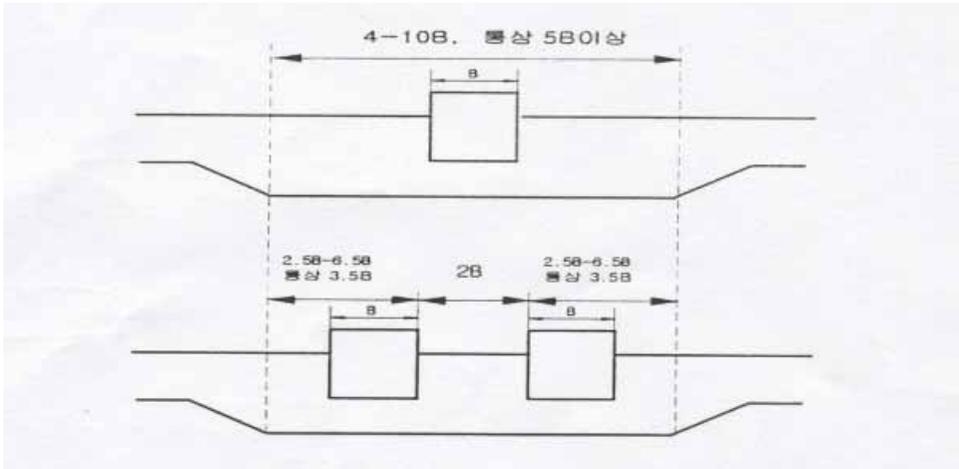


Fig. 4-1 항로폭(PIANC rule)

(5) 만곡부 항로의 폭은 다음 사항을 고려하여 크게 한다.

- ① 선박의 길이에 대한 여유폭 :  $L^2/8R$  (L:선박의 길이, R:만곡부의 반경)
- ② 조종상의 어려움 특히, 선박은 그 특성상 조종 명령에 신속히 응답하지 않기 때문에 도선사가 선박의 운동을 예측하면서 조종해야 하는 어려움을 고려한 여유 폭. 이 여유폭은 만곡부의 반경이 짧거나, 침로의 변화가 크거나, 조류나 바람의 속도가 큰 경우 더욱 중요하다. 항로의 폭이 다른 연결부에서는 그 끝을 직선으로 연결하도록 하며, 폭의 반경은 100m 전진할 때마다 10m를 넘지 않도록 한다.

(6) 이론적으로 볼 때 왕복 항로의 경우 두 통항 선박 사이의 간격이 보다 큰 선박의 선폭의 최소한 2배가되면 위험하지 않다. 그러나 실제적으로는 통과시의 선박의 조종성 제한도 고려해야 하므로 (4)의 편도 항로의 폭에 가장 큰 선박의 선폭의 3~5배를 추가하며, 조류나 바람에 의한 편위 값( $L \times \sin\beta$ , 단 L:가장 큰 선박의 길이,  $\beta$ :최대편각)을 더한다.

이러한 조건이 충족되지 않는 항로에서 대형선 2척이 동시에 통항해서는 안된다. 교통량이 많거나 항로를 횡단하는 선박이 있는 경우에는 선박

의 사고나 기관 고장 등의 위험을 고려할 것이며, 편도 항로보다 더 세심한 고려가 필요하다.

사고가 발생할 때 항로의 폐쇄를 피할 수 있도록 사고 선박의 처리 방안 또는 항로의 여유폭이 마련되어 있어야 한다.

교통 관제는 매우 중요한 사항중 하나이다. 그리고 여기에서 권고되는 내용을 뒷받침하고 확인하기 위해 선박이 서로 통과할 때의 선체 운동에 관하여 보다 더 많은 연구가 필요하다.

## 2) 항로의 배치

(1) 항로의 배치는 해당 지역의 지리적 특징 및 환경 등에 따라 미리 결정된다. 여러 형태의 배치가 가능한 경우에는 가장 안정된 상황에서 가장 쉽게 선박이 통항할 수 있는 항로를 선택해야 한다. 항로를 설계할 때는 해당 해역의 바람, 조류, 파도 등을 고려한 선체운동, 항로표지, 통과 선박의 항해 장비 등의 성능을 고려하여야 한다.

(2) 선박의 조종성능은 횡방향의 조류나 바람에 크게 영향을 받기 때문에 항해상 위험이 예견되는 곳에서는 대형 선박의 최저 속도를 고려하여 선박의 편각이 10~15. 를 넘지 않도록 한다. 조류는 가능한 선수방향에서 받도록 한다.

(3) 항로상에서 변침은 매우 위험한 요소이므로 가능한 직선 항로가 되도록 설계하는 것이 바람직하다. 그러나 신뢰성 있는 항로 표지로 선박의 위치 등을 정확히 파악할 수 있는 경우라면 조류의 흐름에 따라 긴 간격을 두고 소각도 변침을 수회 하는 것을 허용할 수 있다.

(4) 대각도 변침이 불가피한 경우는 선회 중심점을 기준으로 방사형의 조종이 가능하도록 만곡부가 설계되어야 하며 작은 간격으로 여러 개의 커브를 두는 것보다는 하나의 커브가 좋다. 그러나 방사형 조종이 가능한 단일 커브의 항로를 설계하는 경우에는 짧은 시간에 위치 확인이 가능하도록 양질의 항로 표지를 설치한다.

(5) 항로의 만곡부는 그 반경이 가장 큰 통항 선박의 선체 길이의 최소한

5배, 가능하면 10배 이상이 좋다.

(6) 만곡부 사이의 직선항로는 가급적이면 가장 큰 통항 선박의 선체길이의 10배의 길이를 갖도록 하여야 한다.

(7) 교량 등이 있어 폭이 좁아지는 곳에는 가장 큰 통항 선박의 선체길이의 최소 5배 이상 길이를 갖는 직선항로를 경계부 전후에 두고 그 구간에 양질의 항로표지를 설치한다.

(8) 항로나 항내에서 선박 사고나 기관고장이 발생했을 경우 해상교통이 완전히 마비되거나 교통 흐름이 현저히 떨어질 수 있다. 항로마다 각 선박의 종류에 따라 정지 또는 후진하거나 수로를 벗어날 수 없는 즉, 「돌아갈 수 없는 지점」들이 있다. 이 경우 다음과 같이 권고한다.

- ① 특히 긴 항로나 복잡한 항로의 경우 항해 불능선박이 가급적 빠른 시간 내에 항로를 벗어날 수 있도록 하는 여유 수역을 적절히 마련한다.
- ② 대형선의 경우 돌아갈 수 없는 지점으로부터 진입항까지의 거리를 가능한 짧게 한다.

#### 4.1.2 미국의 항만 시설물 설계 기준

##### 1) 항로폭

###### (1) 일반 사항

항로폭은 당해 항로를 이용할 선박이 안전하고 효율적으로 운항할 수 있도록 설계되어야 한다. 필요로 하는 최소 항로폭은 선박의 크기와 조종성능, 항로의 형태와 배치, 교통 밀도, 해당 해역의 바람, 파도, 조류 및 시정, 항로표지의 성능과 설치 간격, 그리고 편도 또는 왕복 항로 여부에 따라 결정된다. 항로의 폭은 설계 수심에서 경사면의 밑 부분의 폭으로 측정된다. 항로폭의 안전성과 효율성을 평가하기 위해 수리 모델 또는 수치 시뮬레이션 모델을 사용하기도 한다.

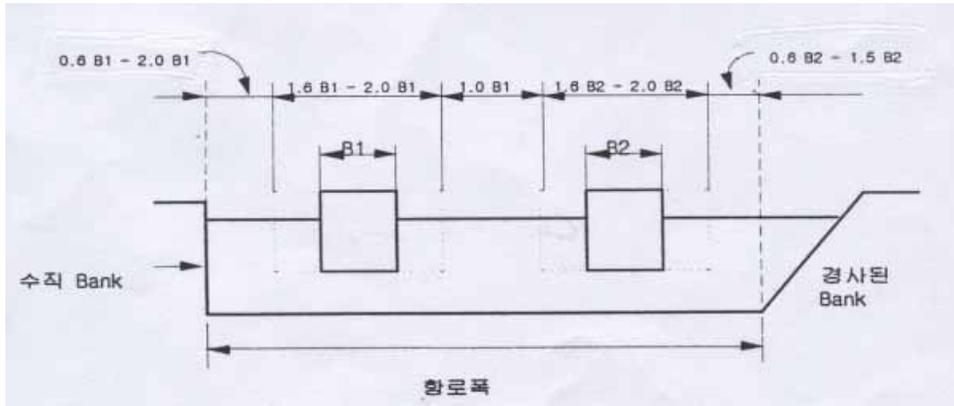


Fig. 4-2 미국 항만시설물 설계 기준상의 항로폭

## (2) 고려사항

항로폭은 선박의 조종 통항폭, 통항 선박 사이의 간격, 특히 제한된 항로의 경우 bank와의 여유폭이 더 필요하다.

## (3) 조종 통항대 (Manoeuvring Lane)

최소 항로폭을 결정하는 첫번째 단계는 선박의 조종 통항대의 폭을 결정하는 것이다. 조종 통항대는 선박이 bank와의 여유 구간을 침범하지 않으면서 다른 선박에 위험을 주지 않고 직선에서 벗어날 수 있는 폭이다. Fig. 4-2는 항로폭에 대한 상세이다. 유능한 도선사가 조종하는 조종성능이 우수한 선박의 경우 조종 통항대의 최소폭은 선폭의 160%이다. 이 값은 횡방향의 조류, 바람 그리고 파도의 영향이 없는 항로에 적용된다. 조종성능이 좋지 않은 선박인 경우, 같은 조건하에서 조종 통항대의 폭은 선폭의 200%가 된다. 대형선 통항이 그리 빈번하지 않은 항로의 경우는 작은 선박은 왕복통항, 대형선은 일방 통항을 할 수 있도록 설계한다. 항로의 조종 통항대의 폭을 결정할 때, 횡방향의 조류 또는 바람의 영향이 있는지 그리고 기상 상태가 시정이나 다른 선박의 위치 파악에 영향을 주는지에 대한 판단이 필요하다. 당해 항로를 이용할 선박의 조종 특성에 대한 정보는 선주 또는 선박 운항자로부터 얻을 수 있다. 선박 통항량이

매우 많은 항로나 위험 화물이 운송되는 항로의 경우 여유폭이 더 필요하다. 여러 항로폭에 대한 안전도를 평가하기 위해 수리 모델 또는 수치 시뮬레이션 모델을 이용할 수 있다.

#### (4) 통항 선박 사이 간격

왕복항로의 경우 교차 선박 상호간의 흡인작용으로 인한 충돌 위험을 피하기 위해 조종 통항대 사이에 간격을 두어야 한다. 최소한의 통항 선박 사이의 간격은 통상 선폭의 100%이다. 횡방향 조류 또는 바람의 영향이 있는 경우에는 조종 통항대 사이에 여유 폭을 가산한다. 그러나 이들 힘이 매우 큰 경우에는 통항 선박 사이의 간격에 안전 거리를 더 주어야 한다.

#### (5) Bank와의 거리

Bank와의 거리는 인접한 조종 통항대의 끝과 해저의 경사면 시작 지점 사이의 수평거리를 말한다. bank와의 거리는 조종시 bank의 흡인 효과 및 bank와의 충돌 또는 좌초를 막거나 줄이기 위해 필요하다. 횡방향의 조류 또는 바람의 영향이 없는 항로에서 조종성능이 좋은 선박이 통항하는 경우 bank와의 거리는 선폭의 60%이다. 강한 횡방향 조류 또는 바람이 있는 경우 또는 bank가 바위와 같은 단단한 물질로 이루어져 있는 경우에는 지역적 특성들을 고려한다. 통상 경사된 bank에서는 선폭의 150% 이상, 수직인 bank에서는 선폭의 200%이상으로 한다.

#### (6) 부표와의 거리

항로를 표시하기 위한 부표는 조류 및 수심의 변화 그리고 파랑에 의해 그 위치가 변화한다. 항로폭을 결정할 때에 부표의 위치 이동으로 인한 여유 폭은 선택적인 사항이다. 부표와의 거리는 지역적인 상황에 따라 판단할 사항이나 중시 목표(range marker)가 있는 항로에서는 필요하지 않다.

#### (7) 항로 입구의 폭

항로 입구에서는 강하고 변화가 많은 조류, 강한 파도, 바람, 안개 그리고 기타 항해에 어려움을 주는 여러 가지 요소로 인하여 선박은 항행상에

어려움을 겪게 된다. 안전 향해를 확보하기 위해서 일반적으로 향로 입구의 폭은 향로의 폭보다 더 넓게 한다. 향로 입구의 폭은 교통 형태와 다양한 지역적 특성에 따라 다르므로 지역적 환경적 상황에 관한 분석과 평가를 기초로 하여 신중히 결정한다. 향로 입구 폭 결정에 사용하는 선폭  $B_1$ 은 다음과 같이 정의한다.

$$B_1 = B + L \tan \theta$$

[단, B : 선폭, L : 선박의 길이,  $\theta$  : 요잉각 (편각)]

(8) 향로 만곡부에서의 향로폭

선박이 만곡부를 향해할 때의 항적폭은 직선구간에서의 항적폭보다 더 크다. 만곡부에서의 항적폭은 만곡도, 선박의 길이와 폭 그리고 속도와 조종성능에 의해 좌우된다. 만곡부를 지나는 선박은 조류, 바람 그리고 파도의 영향으로 진행 방향의 변화에 따라 각각 다른 힘을 받기 때문에 통상적으로 만곡부에서의 향해는 직선 향로에서의 경우보다 훨씬 더 어렵다. 그러므로 만곡부에서는 향로폭을 더 넓게 해야 한다. 만곡부를 설계할 때는 곡률 반경이 중요한 요소가 된다. 만곡부의 곡률 반경R(ft)은 통항 선박의 길이L(ft), 만곡도  $\alpha(^{\circ})$ 로 결정된다. 만곡부의 곡률 반경(R)은 다음과 같이 결정된다.

- ① 선박이 자체 동력으로 통항할 때

$$R \geq 3,000(\text{ft})$$

- ② 선박이 예선의 도움을 받을 때

$$1,200(\text{ft}) \leq R \leq 2,000(\text{ft})$$

- ③ 만곡도가  $10^{\circ}$  이상이면 안쪽에 있는 만곡부를 넓게 함

- ④ 장애물이 없는 연이은 만곡부 사이의 접선 길이는 1,000ft 또는  $2L$  중 큰 값일 것

- ⑤ 특별한 경우가 아니면 S자 커브를 피할 것

- ⑥ 만곡도( $\alpha$ )와 곡률 반경(R)

$$\alpha < 25^{\circ} \text{이면 } R \geq 3L$$

$$25^{\circ} \leq \alpha < 35^{\circ} \text{ 이면 } R \geq 5L$$

$\alpha \geq 35^\circ$ 이면  $R=10L$

⑦ 선박의 길이와  $R$ 의 관계

$L < 500\text{ft}$  이면  $R \geq 4,000\text{ft}$

$L=500\text{ft}$  이면  $R \geq 7,000\text{ft}$

$500\text{ft} < L < 700\text{ft}$  이면  $7,000\text{ft} \leq R \leq 10,000\text{ft}$

(9) 만곡부의 향로폭을 증가시키는 방법

만곡부의 향로폭을 증가시키는 방법 중 가장 보편적인 것은 ACM (Apex or Cutoff Method) 방법으로 만곡부의 안쪽 꼭지점 부분을 절단하여 삼각형 형태로 향로폭을 확대하는 것이다(Fig. 4-3 참조). 이렇게 확장하면 조류의 영향이 커질 수가 있다. 다른 방법은 PBM(Parallel Bank Method) 방법으로 만곡부의 향로폭을 일률적으로 넓히고, 만곡부 앞뒤의 직선 구간과의 연결 부분까지의 향로폭을 점차 줄여 직선향로와 연결되도록 하는 방법이다. 이 방법은 일반적으로 준설 면적이 넓게되는 특징이 있고 수심이 심하게 제한된 수로나 조류가 위험한 곳에서 유리한 방법이다.

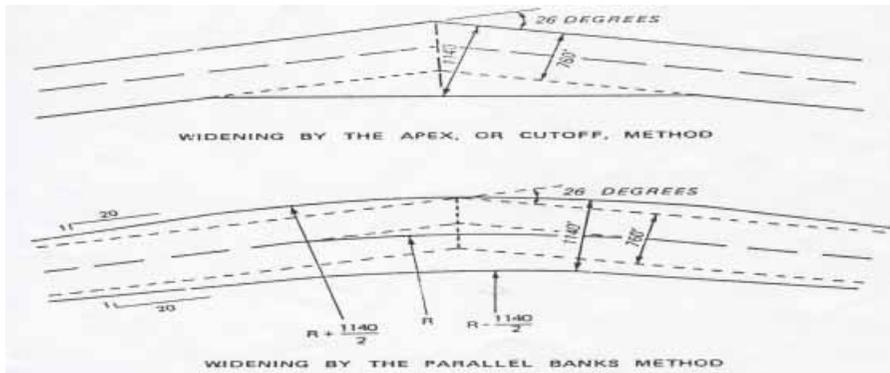


Fig. 4-3 만곡부에서 향로폭 증가 방법

## 2)항로의 배치

초기 건설시 및 향후 관리시 준설을 최소화하기 위해서 항로의 배치는 깊은 수심을 따라 설계하여야 한다. 항로상의 만곡부 수는 가능한 줄일 수 있도록 해야 하지만 직선 구간들 사이에 작은 만곡부에 적절한 중시 목표(range marker)가 설치되어 있으면 쉽게 위치 확인을 할 수 있고 정확한 조종이 가능하므로 허용된다. 그리고 만곡부 사이의 직진 구간은 적어도 최대 선박 길이의 5배는 되어야 한다. 만곡부를 완만하게 할 수 없는 구역은 만곡부를 ACM방법으로 절단하여 확장할 필요가 있다. 방파제나 호안 또는 흙과 장치와 같은 구조물을 적절히 설치하여 항로의 배치 및 폭을 조절할 수 있다. 만약 퇴적물의 이동이나 침전을 조절할 구조물이 없으면 모래톱이나 진흙톱을 가로지르는 항로 배치는 피해야 한다. 항로 배치는 선택 가능한 항로별로 항로를 건설하는데 드는 건설비와 유지비의 계산을 통해 결정한다.

### 4.1.3 우리나라의 항만 시설물 설계 기준

항로는 안전한 항행, 조종의 용이함, 지형, 기상과 해상조건 및 관련시설들과의 조화를 고려해서 계획하여야 한다. 항로란 선박의 항행을 위해 설정된 소정의 수심과 폭을 갖는 수로를 말하며 다음과 같은 조건이 만족되었을 때 양호하다고 할 수 있다.

- ① 만곡부가 있을 경우 만곡도가 작을 것
- ② 폭이 넓고 수심이 충분할 것
- ③ 바람, 조류, 기상 및 해상조건이 양호 할 것
- ④ 항로표지 및 신호설비 등이 잘 정비되어 있을 것

## 1) 항로폭

항로폭은 다음과 같이 정의된다.

### (1) 일반항로

왕복항로에 있어서는 항로의 길이 및 통항 상황에 따라 다음과 같이 정의한다(Table 4-1참조).

### (2) 통항량이 현저히 많은 항로 등

통항량이 현저하게 많은 항로나 항로를 횡단하는 선박의 항행이 예상되는 항로, 초대형선을 대상으로 하는 항로 등에 있어서는 Table 4-1에서 제시한 폭에 이용실태를 감안하여 여유를 더 주어야 한다.

Table 4-1 우리나라의 항만 시설물 설계 기준상의 항로폭

(L: 통항 선박의 길이)

항로 길이	통항 상황	항로폭
비교적 긴항로	통항 선박들이 빈번하게 만날 경우	2L
	상기 이외의 경우	1.5L
상기 이외의 항로	통항 선박들이 빈번하게 만날 경우	1.5L
	상기 이외의 경우	1L

(3) 어선 또는 총톤수 500톤 미만의 선박을 대상으로 하는 항로는 이용실태에 따라 적절한 폭으로 한다.

## 2) 항로 배치

만곡부에서 항로 중심선의 교각은 대체로 30. 를 넘지 않는 것이 바람직하다. 30. 를 초과하는 경우에는 항로 만곡부 중심선의 곡률 반경이 통항 선박의 선체 길이의 4배 이상이어야 하며 동시에 항로폭이 적정 이상 확보되어야 한다. 단, 스포츠 또는 레크리에이션용으로 사용되는 요트, 모터보트 등 선회성능이 양호한 선박을 대상으로 하는 경우와 항로 표지 및 신호등에 의하여 안전하고 원활한 조종이 가능하도록 되어 있는 경우에는 그렇지 않다. 선박이 전진중 키(rudder)를 한쪽 방향으로 취하면 선박은

점차 원침로를 이탈해서 나선형을 그리면서 회두하며,  $90^{\circ} \sim 180^{\circ}$  회두한 후에는 점차 원에 가까운 형상으로 일정한 선회 운동을 하게되고,  $360^{\circ}$  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 최대횡거(max transfer)로 나타내고, 후자는 특히 선회경(tactical diameter)이라고도 하며 일반적으로 선박의 길이(L)와의 비로 표시한다. 통상적으로 상선이 최대타각  $35^{\circ}$ 를 취할 경우 선회경은  $5L \sim 7L$ , 최대종거는 최종선회경(final diameter)과 같아지며  $4L \sim 6L$ 이 된다. 항로 만곡부의 곡률 반경은 이 선회경의  $1/2$ 인  $3.5L$ 에 킥(kick)과 그 밖의 여유를 보태어서  $4L$ 이상으로 하는 것을 표준으로 한다.

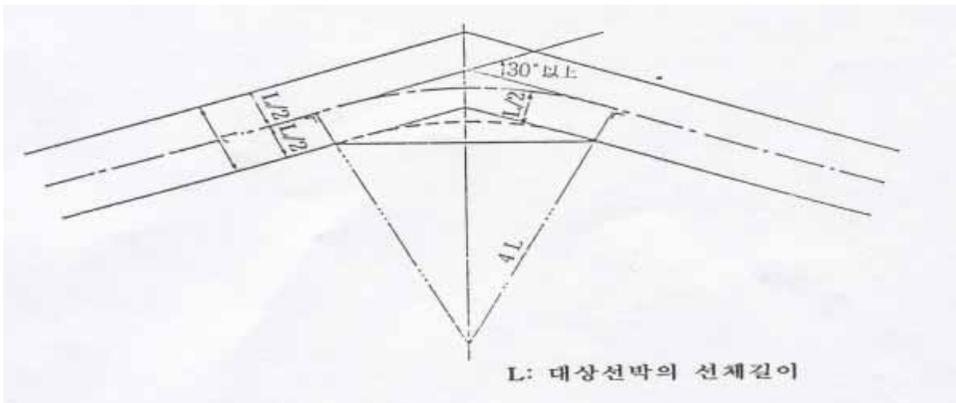


Fig. 4-4 항로 만곡부의 배치

## 4.2 항로의 수심에 관한 규정

### 4.2.1 항로 수심에 관한 PIANC rule

항로의 수심은 기본수준면을 기준으로 하여 최대허용흘수, 선저 여유수심 그리고 명목상 해저면과 준설 해저면과의 차이를 합한 값을 최저 수심으로 한다(Fig. 4-5참조).

(1) 기본수준면은 다음 사항을 고려해서 계산한다.

- ① 기상 악화로 인한 수심의 감소를 포함해서 최저 조석 상태시의 전체 수로에 있어서의 최저 수준면
- ② 계획된 조종 시간이 초과될 경우를 대비한 안전 여유
- ③ 기본수준면 예측상의 부정확성과 관련한 여유

(2) 흘수는 정온상태 해상에서 선속이 없는 선박 최대 침하량을 말하며 최대허용흘수는 출입하는 선박 중 최대 선박의 국제 만재흘수선 증서상 흘수를 말한다. 이 값은 해수의 밀도와 선적 조건에 따라 수정이 필요하다. 실제 흘수의 불확실함을 보완하기 위한 이 값은 최소(+)0.3m이다.

(3) 명목상 해저면은 그 면 위에 항행상 장애물이 존재하지 않는 해저면을 말한다.

(4) 총 선저 여유수심은 정온 상태 선박의 최대 흘수와 항해중의 기본수준면을 고려하여 선박의 용골에서 명목상 해저면까지의 거리를 말한다. 순수 선저여유수심은 항로를 항행할 최대 선박이 가장 극심한 바람과 파도 상태하에서 계획 속도로 항행할 때의 선체 용골과 명목상 해저면 사이의 최소한의 여유를 말한다. 순수 선저여유수심은 최소 0.5m는 되어야 하며 이는 선저가 바닥과 접촉하는 것을 방지하기 위한 안전 여유수심이다. 이 순수 선저여유수심은 선저와 해저와의 접촉 위험이 있을 때에는 증가한다. 예를 들어 해저가 암반으로 되어있는 항로의 경우에는 0.1m의 여유수심이 필요하다. 기타 고려사항으로 선체의 크기와 종류, 운송 화물의 종류, 주변환경 및 교통량 등이 있다.

(5) 선속에 의해 발생하는 선체 침하(squat) 및 swell에 의한 선체의 수직 운동 거리(총선저여유수심과 순수 선저여유수심의 차이)도 다양한 변수들의 값 즉, swell의 크기, 주기 및 방향, 선박의 크기와 속도, 수심 등에 따라 계산된다. 선체침하 값을 결정하기 위해서는 항로에서 허용되는 가장 빠른 선속을 고려하여야 한다. 항로에 횡방향 조류가 있는 경우, 선박 통항 속도는 횡방향 조류의 속도에도 좌우된다는 것을 유의해야 한다. 항로의 해저 경사면의 높이를 수심으로 나눈 값인 H/h ( H:항로의 해저 경사면의 높이, h:수심) 값에 특히 유의해야 한다. H/h가 0.4 이하이면 평탄한 해저면을 갖는 항로와 크게 다르지 않다. H/h가 0.4 이상인 때에는 경사면의 경사가 매우 완만한 경우를 제외하고는 양측이 bank로 둘러 쌓인 운하를 항해하는 것과 같은 것으로 해석된다.

(6) 준설 해저면의 깊이는 명목상 해저면의 깊이에 아래 값들을 합쳐서 구한다.

- 2회의 준설기간 사이의 퇴적량
- 준설 오차
- 측심의 정확도

(7) 기본수준면, 명목상 해저면 및 선저여유수심을 결정할 때에는 여러 가지 변수들의 각종 오차를 고려해야만 한다.

(8) 결국 수심을 결정하는데는 지역적인 조건들이 매우 중요하게 작용하기 때문에 항로의 최소수심결정에 대한 정확한 규칙을 정하는 것은 불가능하다. 현재까지의 각종 연구 및 관측 자료들을 바탕으로 하여 최소수심에 대하여 다음과 같은 내용을 권고하며 이 내용은 초기 설계 단계에 도움이 될 수 있을 것이다.

- ① Open Sea 해역: 파고가 높고 파장이 긴 선미방향 또는 선미 1/4방향의 swell에 노출된 해역으로 선박이 빠른 속도로 항해할 수 있는 해역으로 총선저여유수심은 통항 선박 최대 흘수의 20%이다.
- ② 대기해역 : 파고가 높고 파장이 긴 swell에 노출되어 있는 대기 해역의 경우 총선저여유수심은 흘수의 15%이다.

- ③ 파고가 높고 파장이 긴 swell에 노출된 항로 : 총선저여유수심은 흘수의 15%이다.
- ④ 비교적 swell에 노출이 덜 된 항로 : 총선저여유수심은 흘수의 10%이다.
- ⑤ Swell에 노출되어 있는 조종 및 접·이안 해역 : 총선저여유 수심은 흘수의 10~15%이다.
- ⑥ Swell에 차폐되어 있는 조종 및 접·이안 해역 : 총선저여유 수심은 흘수의 7%이다.

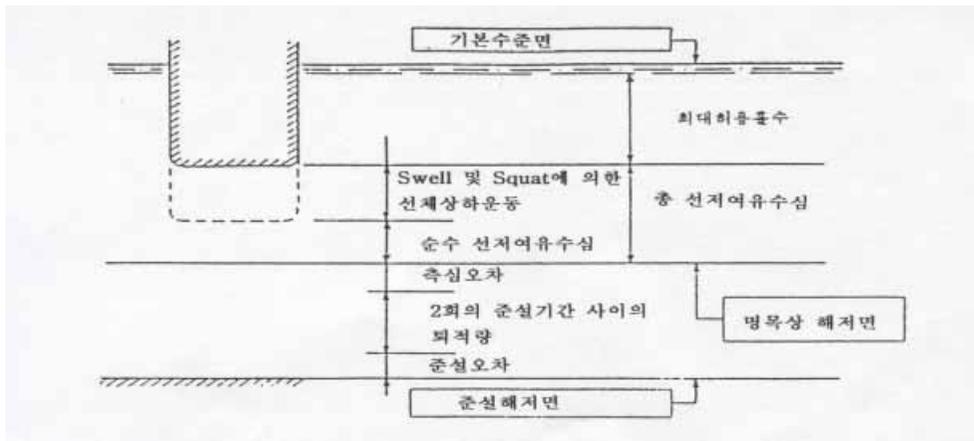


Fig. 4-5 PIANC rule에서의 항로 수심

## 4.2.2 미국의 항만 시설물 설계 기준

### (1) 기본수준면

항로의 수심은 그 항로를 이용하게 될 선박 중 가장 흘수가 큰 선박이 통항할 수 있을 만큼 깊어야 한다. 교통량의 폭주가 예상되거나 수면이 종종 평균저조면 이하로 되는 경우, 설계수심은 저조면 이하의 수면을 기본수준면으로 결정해야 한다.

그러나 교통량이 많지 않을 것이 예상되는 경우 설계수심을 저조하면 보다 높은 면을 기준으로 하여도 무방하다. 이는 흘수가 큰 선박의 경우 만조시에 가능하기 때문이다. 설계수심은 일정수심을 확보하는데 필요한 항로 건설 및 유지비용과 선박 운항지연 및 경하적재에 따른 경제적 손실을 비교 분석해서 결정하여야 한다.

(2) 수심 결정의 기본사항

필요한 수심은 계획선박의 만재 흘수에 선체 침하(squat), 담수에서의 추가 침하량, 트림(trim)과 파랑의 영향 그리고 안전여유수심을 더해서 결정해야 한다. 여기에 추가하여 선박의 해수 유입구 위치를 고려한 여유 및 준설기간 사이의 퇴적량 및 준설오차를 고려한 값을 더해주어야 한다 (Fig. 4-6, Fig. 4-7 참조).

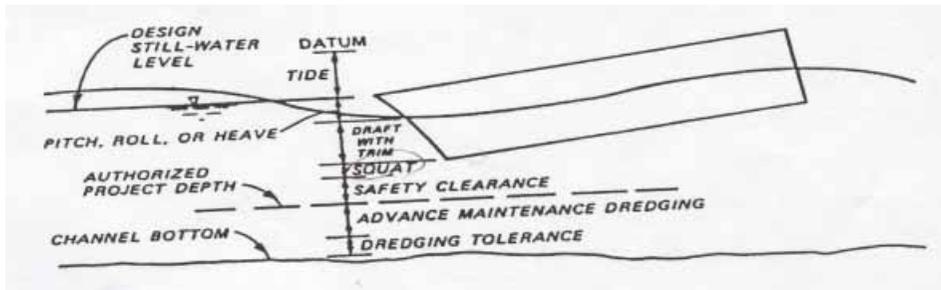


Fig. 4-6 파도의 영향이 있는 경우 항로의 수심

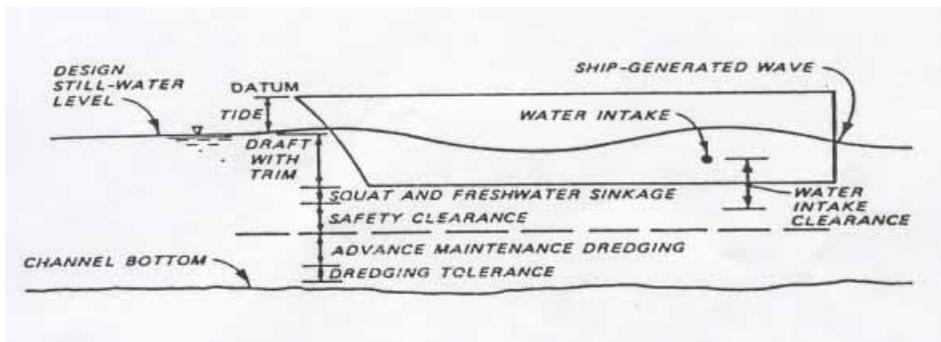


Fig. 4-7 파도로부터 보호된 경우의 항로 수심

### (3) 선체 침하(Squat)

선체의 운동은 선체를 지나는 유속의 증가로 수면을 낮아지게 하고 선체를 침하시킨다. 선체 침하 현상은 선미트림을 조금 증가시키지만 그 효과는 작아서 무시될 수 있다. 선체 침하 현상에 의한 침하량은 선속, 항로와 선박의 특성, 다른 선박과의 상호작용 등을 포함한 여러 가지 요소에 영향을 받는다. 선체 침하를 고려한 추가 여유수심은 다음과 같이 계산된다.

- ① 선박의 수면하 횡단면적을 항로의 횡단 면적으로 나눈 값인 방해율  $s$ 를 결정된다. 방해율  $s$ 는  $s=A/Wh$ 로 표현되며 여기서  $A$ 는 선박의 수면하 횡단면적,  $W$ 는 항로폭,  $h$ 는 항로의 수심을 나타낸다.
- ② Froude계수( $F$ )를  $F=V/\sqrt{gh}$ 로부터 결정한다. 여기서  $V$ 는 선속 (ft/sec)을  $g$ 는 중력가 속도 ( $32.2ft/sec^2$ )를 나타낸다.
- ③  $s$ 와  $F$ 를 대입하여 무차원화 한 선체 침하값인  $d$ 를 구한다(Fig. 4-8 참조).
- ④  $d$ 로부터 실제 선체 침하값을 구한다. 선체 침하값인  $z$ 는  $z=dh$ 로 구해진다. 두 선박이 항로를 통과할 때에는 방해율( $s$ )이 커지기 때문에 선체 침하가 더 커지게 되며, 따라서 양방 통행항로를 설계할 경우에는 이를 반드시 고려해야만 한다. 외력으로부터 보호되지 아니한 항로나 대양에서는 선박의 수면하 횡단면적이 항로 횡단면적에 비해 매우 작으므로 제한 항로의 경우보다 선체 침하가 훨씬 작게 된다.

### (4) 담수에서의 추가 침하량

해수에서 담수로 향해할 때 비중의 감소로 흘수가 증가한다. 비중 1.026 ( $64lbs/ft^3$ )인 해수에서 비중 0.999 ( $62.4lbs/ft^3$ )인 담수로 들어갈 때 선박의 배수량은 약 3% 증가한다. 따라서 해수에서 35ft의 흘수를 갖는 선박의 배수량은 약 3% 증가한다. 따라서 해수에서 35ft의 흘수를 갖는 선박의 경우 담수에서의 흘수는 36ft가 된다.

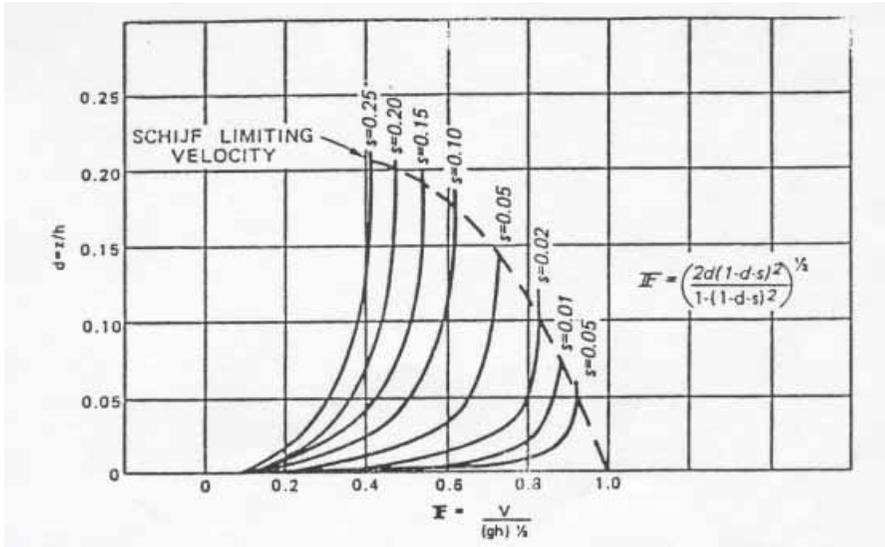


Fig. 4-8 선체 침하값 d의 계산표

#### (5) 트림(Trim)

트림이란 선수 흘수와 선미 흘수의 차이를 말하며 적재 상태에 의해 좌우된다. 선박 운항자들은 일반적으로 등흘수 상태보다는 트림된 상태를 선호한다. 그러나 이렇게 하는데는 비용이 더 드는 경우도 있고 드물기는 하지만 바람직하지 못한 힘이 선체에 미치는 경우도 있다. 선수로 경사된 선박은 조종성능이 매우 좋지 않으므로 선미로 경사 되도록 화물을 싣는 경우가 많다. 선박이 점점 대형화되면서 항로 설계에 있어 트림에 관한 정보의 중요성이 점점 커지고 있다. 예로, 선미로 1%(1° 미만)경사진 1,000ft 길이의 선박은 중앙보다 선미쪽이 약 5ft 더 큰 흘수를 갖게 된다.

#### (6) Pitching, rolling, heaving

파랑에 의해 야기되는 선체의 침하는 항로의 수심을 설계할 때 반드시 고려되어야 한다. 파도는 선체에 pitching, rolling 및 heaving 등의 현상을 일으키며 대양에서 1,000ft 길이의 선박이 2.5° pitching하면 선수 흘수는 약 22ft 증가하게 된다. 그리고 선폭 100ft의 선박이 5° rolling하면 경사된 쪽의 선체 중앙 흘수가 약 4.2ft 증가하게 된다.

#### (7) 해수 유입구의 위치

대형 상선은 콘덴서의 냉각, ballast, 증류기, 냉장고, 소화설비, 화장실, 그리고 기타 설비들의 가동을 위해 통상적으로 해수를 사용한다. 해수의 흡입을 위한 sea chest는 크기가 다양하며 보통 경하할수 아래 약 6ft 정도에서부터 선저 사이에 위치하고 있다. 해수를 사용하는 설비들은 해수와 함께 흡입되는 물체들에 의해 손상되기 쉬운데 특히 증기 터빈에 사용하는 콘덴서는 더욱 그렇다. 해조류, 진흙, 조개 등의 유입으로 터빈의 콘덴서 시스템의 효율이 감소하며 오손된 설비를 청소하는 동안 시스템이 정지하기도 한다. 또 해수 유입구 아래의 최소 여유 수심은 프로펠러의 수류 작용에 의한 해저 물질의 부유와 해수 유입구에 연결되어 있는 시스템의 이물질에 대한 민감도를 고려하여 정해야 한다. 민감한 해수 유입구와 이물질이 많은 항로의 바닥과는 최소한 5ft의 간격을 둘 것을 권고한다. 이 수치는 샌프란시스코만에서의 SL-7 컨테이너선에 대한 콘덴서 해수 유입구에 관한 연구결과에 기초한 값이다.

#### (8) 안전 여유 수심

최소한의 선저 여유 수심은 안전성과 효율성을 동시에 고려해서 결정되어야 한다. 제한된 항로의 수심은 방해 수류를 발생시켜 선박 조종성에 영향을 줄 수 있다. 천수효과에 대한 정확한 정보는 없으나 수심이 얕을수록 조종하기 힘들고 선속을 상당히 감소시키지 않는 한 조종에 많은 타각이 필요하다는 것은 일반적으로 알려져 있는 내용이다. 또한 천수지역에서 선박을 운용할 때가 깊은 수심에서 운용할 때보다 더 많은 마력과 연료가 필요하다. 또 물속에 침전된 물체를 이동시켜 선박의 진로를 방해할 수도 있다. 해저의 목재나 잔해 물질로부터 추진기가 손상되는 것을 방지하고, 펌프와 콘덴서가 해저 잔해물에 의해 손상되는 것을 방지하기 위해 선저와 해저 사이에 최소한 25ft의 여유를 두어야 한다. 항로 바닥이 암반 또는 굳은 모래나 진흙으로 이루어진 경우 이 여유는 적어도 3ft가 되어야 한다. 실제로 최소 수심은 해저 형태에 추가하여 교통 흐름의 형태와 항로의 형태 등과 같은 지역적 변수들을 고려하여야 한다.

(9) 운항 효율을 높이기 위한 여유 수심

안전 여유 수심에 추가하여 운항효율을 높이기 위한 여유수심을 두는 것이 경제적인 측면에서 정당화될 수 있다. 이는 교통량 및 교통형태와 설계속도를 유지하는데 필요한 연료소모 등에 따라 달라진다. 수심에 따른 저항이나 힘의 증가율은 백분율로 나타낼 때 대략적으로  $50D/h$ ( $D$ : draft(ft),  $h$ : 수심(ft))로 표시된다.

(10) 추가예비준설 (두 준설 사이의 퇴적량을 고려한 여유)

추가예비준설은 각종 침전물의 침전에 대비하여 항로를 설계수심보다 깊게 준설하는 것이다. 추가 예비 준설을 하면 수심에 대한 신뢰도가 커지고 준설 회수를 줄일 수 있어서 경제적이다. 깊은 항로는 얇은 항로에 비해 퇴적속도가 빠르나 퇴적 부분이 일부에 국한되어 준설면적이 축소되므로 준설 비용이 절감될 수 있다. 최적 수심을 결정할 때는 예비 준설 깊이의 증가량과 수심 감소율에 대한 증가량의 영향에 대한 예측도 필요하다. 예비준설에 따른 제반 자연 조건은 지역별로 다르게 적용되므로 계획 수심과 적용이 가능한 예비 준설의 깊이는 이 조건들을 평가한 뒤 결정되어야 한다.

(11) 준설오차

예비준설깊이에 추가하여 약 1~2ft의 추가 수심을 준설오차로 한다. 이는 항로를 똑같은 깊이로 완전하게 준설하는 것이 사실상 불가능하기 때문이다.

### 4.2.3 우리나라의 항만 시설물 설계 기준

항로의 수심은 정박지의 수심과 같은 수심을 확보함과 동시에 상황에 따라 저질, 선박의 동요, 트림, 선체의 침하 등을 고려한 여유수심을 더하여 결정한다. 즉, 다음 사항을 검토하여 결정한다(Fig. 4-9참조).

- (1) 정박지의 수심은 해당 선박의 만재 흘수값에 그 값의 10%를 더한 값으로 한다.
- (2) 적하 및 항해 때문에 발생하는 선박의 선수미 흘수차를 트림이라고 하고, 통상 적하시 저속일 때는 선수가 침하하고 고속일 때는 선미가 침하하는 경향이 있다.
- (3) 얕은 수역 혹은 항로의 단면적이 작은 수역에서는 선체 부근의 수위가 저하하여 선체가 침하한다. 이 현상을 선체 침하 현상이라 한다.
- (4) 해저가 단단한 지반으로 되어있는 곳에서는 선저가 해저와 접촉할 경우 큰 사고가 날 수 있기 때문에 여유를 크게 하는 것이 바람직하다.

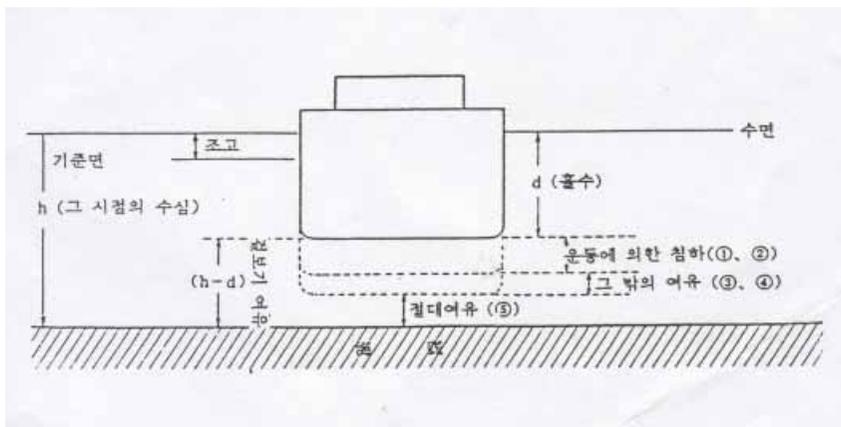


Fig. 4-9 항로의 수심

[참고]

참고 선형을 Table 4-2와 같이 가정한 경우 적절한 항로 수심은 다음의 요소를 고려하여 결정한다.

Table 4-2 참고 선박의 제원

전장(L)	폭(B)	깊이(T)	흘수(D)	중량톤 (Deadweight)
230m	36m	17m	11.8m	67,000kt

- ① 평수 중을 항해하는 경우의 선체 침하  
수심/흘수의 값에도 영향을 받지만, 대개 항내 속력(3~4kts)으로 진행 중의 선체 침하량은 0.3~0.5m이다.
- ② 선체 동요에 따른 흘수 증가  
파고, 파향 등에 따라 서로 다르다.  
파고 1.5m의 경우, 최대 약1.6m  
파고 1.0m인 경우, 최대 약0.9m
- ③ 해도의 측심 정도  
국제적인 측심 기준에 의하면 (-)20m까지의 허용오차는 0.3m이다.
- ④ 비중의 변화에 따른 흘수의 변화  
선박의 흘수는 해수의 표준비중( $\rho=1.025$ )일 때의 값이다. 따라서 비중의 증감에 따른 흘수도 증감한다. 위의 참고 선박의 경우 흘수 11.8m는 해수 비중에 따라 Table 4-3과 같이 변한다.

Table 4-3 비중의 변화에 따른 흘수의 증가

$\rho$ (비중)	흘수의 증가
1.000	약 28cm
1.010	약 17cm
1.020	약 5cm

⑤ 절대여유

선저가 바닥에 닿지 않도록 하기 위해서 또한 최소한의 조종성능을 확보하기 위해서 0.5~0.6m의 절대여유가 필요하다.

이상을 종합하면 항구부근의 파랑의 영향이 있는 항로의 수심은 Table 4-4와 같다. 따라서 Table 4-2에서 대상선박의 흘수가 11.8m이므로 만재 상태로 입항할 경우는  $11.8\text{m} + 2.3\text{m} = 14.1\text{m}$ 의 수심이 필요하다. 그러나 방파제 안의 파랑이 낮은 곳에 있는 항로의 경우는 파랑동요에 따른 흘수 증가 0.9m를 고려하지 않으므로 13.2m의 수심으로 가능하다.

Table 4-4 파랑의 영향이 있을 때의 여유수심

선체침하(squat)	0.4m
파랑동요	0.9m (파고 1.0m일때 )
그 외의 여유	0.5m (해도오차, 해수비중 변화 등)
절대 여유	0.5m
계	2.3m

## 제 5 장 항행 바지와 항행 수로

항행 바지와 항행 수로는 크게 두가지로 나누어 생각할 수 있다. 첫째는 운송 화물의 특성을 고려하여 항행 바지의 크기를 먼저 정하고 항행 바지에 맞추어 수로의 폭과 수심을 정하는 것이고, 둘째는 수로의 제원에 맞추어 적정 항행 바지를 도출하는 것이다.

전자는 경제면에 중점을 둔 방법이고, 후자는 환경 친화적인 면에 초점을 맞춘 방법이라 할 수 있다. 어떤 방법이던 경제면과 환경 친화적인 면이 서로 조화를 이루도록 검토할 필요가 있으며 이 연구에서는 전자를 중점적으로 취하고자 한다.

### 5.1 컨테이너 화물

부산 경남권에서 취급하는 화물은 주로 시멘트, 유류, 철강재 및 컨테이너이며 특히 부산신항에서 취급하는 화물의 대부분은 컨테이너이다.

Fig. 5-1은 건설될 부산신항을 나타낸다.

부산신항은 부산항 컨테이너 화물 처리를 위해 만들어질 전용 컨테이너 부두이다. 낙동 수로를 항행할 바지는 부산신항에서 화물을 적재하기 때문에 주로 컨테이너를 운송할 것이다. 일반적으로 컨테이너는 다음과 같이 분류된다.

1) 크기에 따른 분류

현재 해상운송에서 사용되고 있는 컨테이너는 20푸터(20'×8'×8'6"), 40 푸터 (40'×8'×8'6"), 40푸터 high cubic(40'×8'×9'6")등이 주로 사용되는데 국제적으로 유통되고 있는 컨테이너는 국제표준기구(International Organization for Standardization)의 ISO표준 규격을 사용하도록 권고되고 있다. 이 중에서 20푸터 컨테이너를 TEU(Twenty-foot Equivalent Unit)라 하여 물동량의 산출을 위한 표준적인 단위로 삼고 있으며, 이 단위는 컨테이너 선박의 적재능력 표시 기준이다. Table 5-1에 컨테이너의 크기에 따른 분류를 나타낸다.

Table 5-1 컨테이너 제원

컨테이너 제원 컨테이너 규격	길이(m)	폭(m)	높이(m)	최대총중량 <sup>1)</sup> (ton)
20 푸터	6.08	2.43	2.58	20.46
40 푸터	12.19	2.43	2.58	26.87

1) 최대총중량 = 화물 적재최대중량 + 컨테이너 자체 무게

## 2) 재질에 따른 분류

- ① 철재 컨테이너(steel container) : 제조원가가 저렴하여 대부분의 컨테이너가 이에 속하나 무겁고 녹이 스는 단점이 있다.
- ② 알루미늄 컨테이너(aluminium container) : 가볍고 외관이 아름답고 내구성이 좋은 장점이 있으나 제조원가가 비싼 것이 흠이다.
- ③ 강화 플라스틱 컨테이너(fiber glass reinforced plastic container): FRP를 합판 표면에 접착제로 붙인 컨테이너이다.

## 3) 용도에 따른 분류

- ① Dry Cargo Container : 일반 건화물 수송용의 대표적인 표준 컨테이너이다.
- ② Refrigerated Container(Reefer Container) : 과일, 야채, 생선, 육류 따위와 같이 보냉이나 보열이 필요한 물품의 운반에 이용되는 컨테이너로서 규격은 dry container와 같지만 온도조절 장치가 붙어있어 -28℃에서 +26℃까지의 임의 조절이 가능하다.
- ③ Solid Bulk Container : 소맥분이나 가축사료 등의 수송을 위한 것으로 천장에 세 개의 뚜껑이 달려 있다.
- ④ Open Top Container : 파이프와 같이 길이가 긴 화물, 중량물, 기계류 등을 수송하기 위한 컨테이너로 지붕이 없는 형태여서 화물을 컨테이너의 위로 넣거나 하역할 수 있다.
- ⑤ Tank Container : 유류, 술 등의 액체 화물을 수송하기 위한 컨테이너이다.
- ⑥ Flat Rack Container : dry container의 지붕과 벽을 제거하고 기둥과 버팀대만을 두어 기계류나 목재, 승용차 등을 수송할 수 있는 컨테이너이다.
- ⑦ Live Stock Container(Ventilated Container) : 살아있는 동물의 수송에 편리하도록 설계된 컨테이너이다.

## 5.2 항행 바지선

일반적으로 선박이 해상이나 강, 호수를 항행하려면 충분한 수심과 폭 등의 항로가 확보되어야 한다. 그러므로 바지선이 수로를 항행하기 위해 기존의 하천의 폭, 수심, 형태와 주변의 시설물의 배치 및 주요 운송 화물을 파악할 필요가 있다. 낙동강 하구에 건설된 해수 유입 차단보 옆에 건설된 갑문은 길이 50m, 폭 9m이다. 유럽 바지선의 규격 기준에 따르면 하구언독의 갑문을 왕래할 수 있는 바지선 한 대에 수송할 수 있는 화물은 400~700ton 정도인데 이것은 30ton 추력의 13~23대 분이다. 이 갑문을 통과할 수 있는 최대 바지선은 화물수송량에 있어 타수송에 비해 효율성이 적기 때문에 갑문을 배제한 항행 바지선이 검토되어야 할 것이다.

좁은 수로와 컨테이너 화물의 크기 등 낙동수로의 환경을 고려하여 항행 바지선을 검토하면 다음과 같다.

항행 바지선은 20푸터 컨테이너를 기준으로 길이 방향으로 컨테이너 10개(60.9m), 폭 방향으로 5개(12.15m), 높이 방향으로 2단(5.16m) 화물을 고려하면 적재중량 2,046ton이 된다.

길이 방향, 폭 방향의 여유를 고려하면 항행 바지선의 길이는 70m, 폭은 14m 및 바지선 자체의 중량을 고려한 흘수는 2.21m가 된다. 또한 예상선 길이 약 20m(RMD운하의 경우 18.5m)를 추가로 고려하면 바지선 총 길이는 90m가 된다.

항행 바지선의 바닥에서 화물 최상단까지의 높이는 약 5.16m이며, 낙동강에 있는 교량의 최소 높이 8.2m(수면에서 교량까지의 높이)보다 작기 때문에 항행 바지선이 운항하는데는 지장이 없다(2.3 참조).

### 5.3 항행수로 폭

항로의 결정은 통상적으로 통항할 최대 선박을 고려해야 한다. 통항 선박 길이 90m, 폭 14m, 흘수 2.21m 및 양방 통항을 고려한다.

#### 5.3.1 직선구간

항로 설계 기준에 있어서 직선구간의 항로폭은  $5.4B \sim 10B$  또는  $L \sim 2L$ 이다(Table 5-2 참조). Table 5-2에서 PIANC rule의  $L \sin \beta$ 는 강의 수로인 점을 고려하여 생략하였다. 낙동강 수로에서의 수로 폭은 75.6m~180m로 바지선 운항을 고려하면 더 작아질 수 있으며 이 연구에서는 바지선 폭 2B, 바지선 사이 간격 2B 및 측벽과의 거리 B 즉, 5B(70m)를 제안한다.

Table 5-2 항로 설계 기준의 항로폭

	PIANC rule	미국의 항만 시설물 설계 기준	우리나라의 항만 시설물 설계 기준
왕복항로	8B~10B	5.4B~8.5B	L~2.0L
낙동강 수로	112m~140m이상	75.6m~119m	90~180m

### 5.3.2 만곡구간 수로 폭

만곡구간의 항로 폭은 5.5 만곡부의 곡률을 참조하면 72.6m~152.1m이다. 이 연구에서는 만곡구간의 수로폭을 직선구간의 수로 폭의 1.5배(105m)로 제안한다(Table 5-3 참조).

Table 5-3 항로 설계 기준의 만곡구간 수로 폭

	PIANC rule	미국의 항만 시설물 설계기준	우리나라의 항만 시설물 설계기준
만곡구간의 수로 폭	(직선구간의 수로 폭)+ $L^2/8R$	직선구간의 수로 폭×1.5	1.69L
낙동강 수로 만곡구간의 수로 폭	72.6m	105m	152.1m

## 5.4 항행수로 수심

항로 설계 기준에 있어서 각각의 수심은 거의 동일하다. 낙동강 수로에 있어서의 수심은 3.21m~3.65m이며, 흘수의 145%이상으로 RMD이하의 143%보다 크다(Table 5-4 참조). 이 연구에서 수심은 흘수의 1.5배(3.3m)를 제안한다.

한편 낙동강 하구언에서 60.7km 이후의 수심이 얇은 지점은 항행 선박이 통항하기 어렵기 때문에 주운뎃을 건설하여 수심을 증가시키거나 준설작업을 통해 일정 수심을 유지해야 한다.

Table 5-4 항로 설계 기준의 항로 수심

PIANC rule	미국의 항만 시설물 설계 기준	우리나라의 항만 시설물 설계 기준
만재 흘수선 증서상의 흘수 +0.3m (흘수의 불확실 보안) +순수선저여유수심 +swell 및 squat의 영향 +측심오차 +2회 준설기간 사이의 퇴적량 +준설오차	흘수 +선체 침하량(squat) +담수에서의 추가 침하량 +트림에 따른 흘수의 증가 +pitching, rolling, heaving에 의한 선체 침하량 +안전여유수심 +운항효율을 높이기 위한 여유수심 +추가 예비 준설량 +준설오차	흘수+ 선체 침하량+ 파랑동요에 의한 침하량 +해도측심오차 +해수비중에 의한 흘수변화량 +절대여유
3.27m이상	3.65m이상	3.21m이상

## 5.5 만곡부의 곡률반경

항로 설계 기준에 있어서 만곡부의 곡률반경은 360m~900m이다. 바지선이 예선의 도움을 받는 것을 고려하여, 이 연구에서는 만곡반경은 609.6m 이상을 제안한다(Table 5-5 참조).

Table 5-5 항로 설계 기준의 만곡부 곡률반경

	PIANC rule	미국의 항만 시설물 설계기준	우리나라의 항만 시설물 설계기준
만곡부의 곡률반경	10L	$365.8m \leq R \leq 609.6m$	4L
낙동강 수로 만곡부의 곡률반경	900m	$365.8m \leq R \leq 609.6m$	360m

낙동강 분류의 경우, 경남 김해군 생림면 도요리, 하남읍 명례리, 진영군 북면명촌, 진영군 칠서면 이룡리, 창녕군 이방면 안리, 및 경북 달성군 현풍면 도동리, 달성군 다산면 평리, 달성군 하빈면 봉촌리, 칠곡군 약목면 덕산리 등지에 만곡구간이 있으나 그 만곡 반경은 모두 800m 이상이므로 바지선 운항에는 큰 지장을 주지 않을 것으로 판단된다.

## 5.6 낙동강 수로 단면

낙동강 수로 단면의 수면폭( $B_w$ )은 70 m, 측면경사(1:3)를 고려한 하상폭( $B_s$ )은 50.2 m, 바지선의 폭( $B$ )은 14m, 수심( $h$ )은 3.3 m, 바지선의 수면 하에서의 횡단면적( $f$ )은  $30.94\text{m}^2$  및 수로의 단면넓이( $F$ )는  $198.3\text{m}^2$ 이다 (Fig. 5-2 참조).

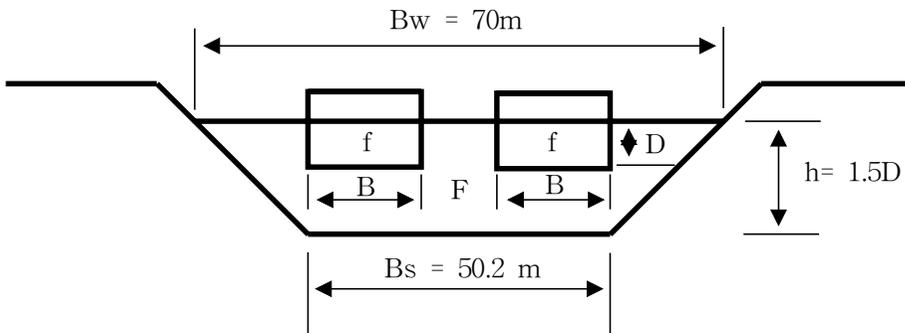


Fig. 5-2 낙동강 수로 단면

$B_w/\sum B \geq 2.5$ ,  $F/\sum f \geq 3.2$  및 수심  $h = 1.5D$ 이며 RMD운하의 단면조건보다 여유가 있다(3.1.2 참조). 항행 바지선이 운항하기 위해서는 수로내에  $198.3\text{m}^3/\text{m}$ 의 물이 항상 존재해야 하며 이러한 유량을 항상 유지하기 위해서는 주운댐의 건설이 요구된다.

## 제 6 장 결 론

이상에서 살펴본 바와 같이 이 연구에서는 PIANC rule, 미국항로 설계 지침, 우리나라 항로 설계 지침을 검토하고 낙동강 수로개발의 타당성을 고찰하였다. 그 결과를 요약하여 정리하면 다음과 같다.

- 1) 각국의 항로 설계 기준을 비교 분석하여 그 차이점을 명확히 밝혔다.
- 2) RMD운하의 항행 바지선과 컨테이너 화물의 크기를 고려하여 길이 90m, 폭 14m, 흘수 2.21m, 적재량 2046ton 바지선을 제안하였다.
- 3) 낙동강 수로의 항로폭은 양방통항을 고려하여 70m이상이어야 한다.
- 4) 낙동강 수로의 수심은 적재량 2046ton을 고려하여 3.3m이상 되어야 한다.
- 5) 낙동강 하구언에서 60.7km이후의 수심이 얇은 지점은 항행 바지선이 통항 가능하도록 준설이 필요하다.
- 6) 이 연구에서 제안한 바지선이 통항 가능하도록 낙동강 수로의 유량은  $198.3\text{m}^3/\text{m}$ 를 유지해야 한다.

낙동강 본류는 공학상, 수리학상 수운 개발에 좋은 입지적 조건을 갖추고 있음을 알 수 있다. 또한 수로개발에 있어서 주운댐을 적절하게 효율적으로 이용한다면 항로 매물, 오염경감 등 큰 효과를 기대할 수 있다.

## 참 고 문 헌

경남개발연구원 환경세미나, 낙동강유역의 수질보전과 종합정비방안, 1996

경인 운하 및 서해측 접근 항로에서의 선박 운항 안전성 평가 연구, 韓國機械 研究院 船舶 · 海洋工學研究센터, 1995.8

낙동강 수질보전 및 종합정비방안연구, 경남개발연구원, 1996.12

낙동강 유역의 수질보전과 종합정비방안, 경남개발연구원, 1996.6

낙동강 하천정비 기본계획, 건설부, 1983

수도권 수송체계 개선을 위한 경인운하 건설방안, 한국수자원공사, 1995.8

윤성운, 낙동강 수질 개선 및 종합 정비방안( I ), 경남개발연구원, 1995

EC의 내항해운, 내항선 대형수송해운조합, 1993.3

정동양, 라인-마인-도나우강-운하, 대한토목학회 166호, 1993.4

정동양, 자연에 가까운 하천공간, 건설기술, 1995

중량물 낙동강 하상운송방안-예비적 검토-, 한국해양대학교 해사산업연구소, 1997.8-1997.10

한강주운개발사업 환경영향평가보고서, 한국수자원공사, 1992

한국기계연구원 선박·해양공학연구센터 세미나, 경인 운하 시설 사업 기본 계획 및 기본 설계(선박 운항 시뮬레이션 부분) -경인 운하 및 서해안 접근 수로에서의 선박 운항-, 1996.3

항만 시설물 설계 기준서(해운 항만청) p. 611

해운항만통계연보, 해운항만청, 1996

화물수송체계 개선에 관한 연구, 교통개발연구원, 1995

首都圈 輸送體系 改善을 위한 京仁運河 建設方案, 1995.8

梁時權 외, 船舶積貨, 韓國海洋大學校 出版部, 1978.1

Hydraulic Design of Deep-Draft Navigation Projects, Department of the Army Corps of Engineers, 1983

NAVFAC DM-26.1, Naval Facilities Engineering Command

RAY K. LINSLEY AND JOSEPH B. FRANZINI, 水資源工學, 歐美書館 1995.8

Report of Work Group of ICOREL, PIANC, 1980

U.S. Army, WATER QUALITY FOR RIVER-RESERVOIR SYSTEM, 1978

W.-D. Schmidt. Stand der künstlichen Grundwasseranreicherung in Deutschland. Sonderdruck aus : gwf-Wasser/Abwasser. 1994