

공학석사 학위논문

만재한 대형 광탄선의 항내조선 중 후진기관  
사용시 급속한 선수 좌선회 현상에 관한 연구

A Study on Rapid Left-Turn of Laden and Cape-sized Ore Carrier by  
Using Astern Engine during Maneuvering in Harbour



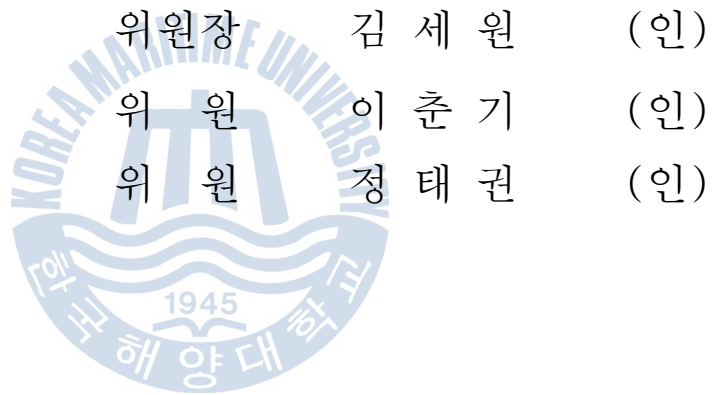
2013년 7월

한국해양대학교 대학원

항해학과

손기학

본 논문을 손기학의 공학석사 학위논문으로 인준함.



2013년 6월 21일

한국해양대학교 대학원

# 목 차

표 목차 .....	iv
그림 목차 .....	v
Abstract .....	vi

## 제 1 장 서 론

1.1 연구의 필요성 및 목적 .....	1
1.2 연구 방법 .....	1
1.3 관련 연구 .....	2
1.4 연구 내용 .....	2
1.5 용어의 정의 .....	3

## 제 2 장 포항항만의 자연환경 및 현황

2.1 포항항만의 자연 환경 .....	5
2.1.1 기상 환경 .....	5
2.1.2 해양 환경 .....	14
2.2 포항항 항만시설의 현황 .....	17
2.2.1 포항항만의 개요 .....	17
2.2.2 대상 수역시설의 현황 .....	19
2.2.3 대상 수역의 수심 .....	23
2.3 포항항만의 예선 현황 .....	25
2.3.1 포항신항의 예선 현황 .....	25
2.3.2 예선운영 세칙 .....	25

### 제 3 장 항내조선에서의 천수 및 제한수역 영향 고찰

3.1 천수의 영향 .....	27
3.1.1 천수영향의 개요 .....	27
3.1.2 선저 여유수심 .....	31
3.1.3 천수영향에 대한 대책 .....	36
3.1.4 흘수제약선의 특수한 조건 .....	37
3.1.5 항내에서의 여유수심 .....	38
3.2 제한수로의 영향 .....	38
3.2.1 안벽의 영향 .....	39
3.2.2 측벽 영향 .....	40
3.2.3 해저경사의 영향 .....	41

### 제 4 장 우회전 단축추진기와 관련한 선박의 선회 현상

4.1 추진기류에 의한 선박의 선회 현상 .....	43
4.1.1 흡수류에 의한 선회 현상 .....	43
4.1.2 배수류에 의한 선회 현상 .....	44
4.2 추진기 날개에 걸리는 횡압력의 작용 .....	47
4.3 선체생성측압류에 의한 선체의 선회운동 .....	48

### 제 5 장 만재한 광탄선에서 후진기관 사용시 발생하는 선수의 좌선회 현상

5.1 만재한 광탄선의 입항 접근조선 중 발생한 선수 좌선회 사례 .....	49
5.1.1 포항항 원료부두 #10번석 접안의 예 .....	49
5.2 광탄선의 후진기관 사용시 선수 좌선회 현상의 발생원인 .....	54
5.2.1 제한수로의 영향 .....	55
5.2.2 여유수심의 크기 .....	56
5.2.3 광탄선의 전진 속력의 크기 .....	57
5.2.4 사용한 후진기관의 크기 .....	58
5.2.5 선미 형상 .....	58

5.2.6 해저 지형의 영향 .....	59
5.2.7 선체생성측압류의 영향 .....	60
5.3 후진기관 사용시 선수 좌선회에 관한 종합 고찰 .....	61
5.4 선수 좌선회 현상을 피하기 위한 실무조선편 .....	61
제 6 장 결론 .....	62
참고 문헌 .....	64



## 그림 목차

<그림 2-1> 포항기상대 바람장미도(1979-2010년) .....	10
<그림 2-2> 태풍 이동 경로도 .....	14
<그림 2-3> 포항 조위도 .....	16
<그림 2-4> 포항항만의 항세도 및 포항신항의 평면도 .....	18
<그림 2-5> 포항신항의 1부두에서 원료선의 접안작업 모습 .....	18
<그림 2-6> 포항신항의 진입항로 .....	20
<그림 2-7> 포항신항의 선회장 위치 .....	22
<그림 2-8> 포항신항 항로의 수심 .....	23
<그림 3-1> 베르누이 방정식과 선체 침하 현상 .....	29
<그림 3-2> 천수에서의 수압의 변화 .....	30
<그림 3-3> 여유수심 산정의 각종 요소 .....	34
<그림 3-4> 안벽의 영향 .....	40
<그림 3-5> 운하통과와 안전성 .....	41
<그림 3-6> 해저경사의 영향 .....	42
<그림 4-1> 전진시 배수류 영향 .....	44
<그림 4-2> 후진시 배수류의 영향 .....	45
<그림 4-3> 후진기관 가속수류에 의한 측압작용 .....	46
<그림 4-4> 횡압력의 작용 .....	47
<그림 5-1> 포항항의 접안을 위한 선박 항적도 .....	50
<그림 5-2> 포항항 실제 선박의 접안조선 .....	51
<그림 5-3> 1번 부두 10번선석 접근 모식도 .....	51
<그림 5-4> 1번 부두 접근항로의 수심도 .....	52
<그림 5-5> 가속수류의 해저 쌓임현상(선속 4노트 이상) .....	56
<그림 5-6> 광탄선의 선미 형상(정선미, 측면) .....	58
<그림 5-7> 컨테이너선의 선미 형상(정선미, 측면) .....	59
<그림 5-8> 선체생성측압류의 영향 .....	60

# A Study on Rapid Left-Turn of Laden and Cape-sized Ore Carrier by Using Astern Engine during Maneuvering in Harbour

Son, Ki Hak

Department of Navigation Science  
Graduate School of Korea Maritime University

## Abstract

Ships have recently been getting larger and larger in size due to the rapid development of shipbuilding technology and the increase of the quantity of cargoes transported. Because large-sized ore carrier entering the port of Pohang are getting larger, shipping companies and cargo owners ask the minimum of under-keel clearance to be permitted. At the present time the maximum size of ships entering Pohang port is the deadweight tonnage of 250,000 and will be larger more than it in the future.

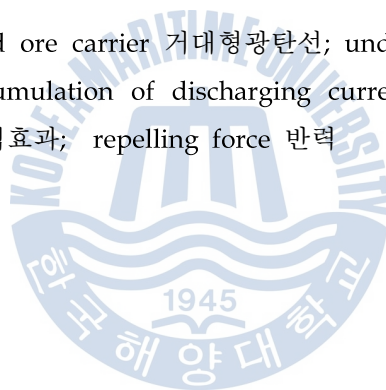
Author and other pilots in the port of Pohang have experienced that when large-sized ore carriers are approaching No. 10 berth of Pohang port, they tend to turn to the left rapidly whenever the astern engine is used, the phenomenon of which is quite different from the text book of maneuvering, saying that the ship's head turns to the starboard.

In viewing this, this paper is to look into the causes of the phenomenon considering the conditions of occurrence at that time. That is, we are just trying to suggest the possible causes of rapid left-turn preceded by astern

engine, based on the situation at that time. As a result the following can be concluded. The main factor is lower under-keel clearance. The left-circle discharging current caused by reverse turn of propeller does not flow under the hull bottom. Rather, it hits and is accumulated at the sea bottom. The repelling force by the accumulation of discharging current is much larger than the later force of the right-circle discharging current. The factors of increasing the repelling force are thought to be the block coefficient of ship's stern, the speed used at that time, the engine order used, and the thrust produced from the engine. And also the bank effect can be considered because of the short distance between the ship's side to the pier.

In future study the test of the water tank is needed according to the various under-keel clearances, ie.  $h/d$ .

**KEY WORDS:** large-sized ore carrier 거대형광탄선; under-keel clearance 선저여유수심; accumulation of discharging current 배수류 쌓임현상; bank effect 측벽효과; repelling force 반력





# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구의 필요성 및 목적

최근 조선기술의 빠른 발전과 해상 물동량의 증가로 인하여 선박의 대형화가 급속히 진행되고 있다. 따라서 포항항만에 입항하는 대형 광탄선도 점차 대형화되고 있고 해운회사와 화주 등 이용자 측에서는 선저하의 여유 수심(under keel clearance)을 최소화로 요구하고 있는 실정이며, 항만내의 준설에는 많은 시간과 비용이 들게 되므로 부두 접안 가능한 최소한의 여유 수심은 피할 수 없는 현실이 되고 있다. 포항 항만에 입항하는 대형 광탄선은 현재 250,000 DWT까지이며, 추후 더 큰 선박의 입항도 예정되어 있다.

필자는 2002년부터 포항항도선사로 근무한 이래 원료부두 #10번석으로 입항 조선하면서 남방파제 통과 직전 우현전타하면서 후진기관을 사용할 때 예상치 못한 선수의 급격한 좌선회 현상으로 커다란 위험과 당혹감을 여러 번 경험하게 되었고, 이후 이 좌선회 현상 원인 규명과 함께 이런 현상이 발생하지 않도록 여러 가지 방법을 시도하게 되었다.

이에 이 연구에서는 이것에 대한 원인을 현실 가능한 범위에서 조사 규명하고, 아울러 그 결과에 따른 합당한 도선법을 제시하여 이를 곧바로 실무에 적용함으로써 안전도선에 기여하고자 한다.

## 1.2 연구 방법

앞에서 말한 이 예상 밖의 선수 좌선회 현상에 대하여 과학적인 원인 규명이 필요하지만 현재까지 면밀한 과학적인 연구 방법을 찾기가 곤란한 형편이다. 따라서 이 연구에서는 이에 대한 원인을 필자 및 포항항 도선사들의 경험을 토대로 원인을 추정하고, 아울러 이런 현상에 관한 실무적인 조선방안을 제안하

여 예측 가능하고 안전한 항내 도선법을 제시하고자 한다.

### 1.3 관련 연구

우회전 단추진기관의 선박에서 후진기관을 사용할 때 발생하는 현상은 선박 조종학 이론에 따르면 전통적으로 프로펠러에 의한 배수류의 측압작용과 추진기의 날개에 걸리는 횡압력에 의한 선회작용이 있다(윤, 2012; 本田, 2011; 井上, 2007). 이들 모두 선미를 좌편향시키는 경향이 있다.

즉, 횡압력에 의한 영향은 추진기가 회전하면 날개면에 압력이 발생하여 이 압력은 선수미방향과 횡방향으로 분리될 수 있는데 선수미방향의 힘은 추력이 되고, 횡방향의 압력은 회전방향의 반대방향으로 토크를 생성한다. 그런데 상하의 수압차이 즉, 상부의 날개보다 하부의 날개가 받는 압력이 커지게 된다. 이에 따라 후진기관이 걸리면 선미가 좌편향하는 경향이 있다. 이 횡압력은 후진기관이 걸린 초기에는 강한 작용이 있어 선미가 크게 좌편향이 되지만 시간이 지나면 아주 약하여 그런 경향만을 나타낼 뿐이다.

그러나 배수류의 측압작용의 경우에는 배수류가 선미로부터 선수방향으로 좌 선회하면서 방출되므로 우현측의 배수류는 우현선미부분을 거의 직각으로 때리게 되고, 좌현측의 배수류는 선저면을 따라서 흘러가게 되어 선미를 현저하게 좌현으로 밀게 된다. 이에 따라 배수류의 측압작용은 후진기관을 걸 때부터 크게 작용하고 그 후로도 계속 강하게 작용되는 것이다.

결국 이들 이론에 따르면, 배수류 측압작용에 의한 영향이 크게 발생하여 선미가 좌편향 즉, 선수가 우편향된다고 할 수 있다. 이것이 기존의 조종자들이 알고 있는 상식이다.

### 1.4 연구 내용

이 연구에는 만재한 거대 광탄선에서 UKC가 특히 작은 선석(#10부두) 근처에서 후진기관을 사용할 때 발생하는 선수좌선회의 영향을 고찰한 것이다. 그 고찰 방법은 실무적 경험을 토대로 생각 가능한 요소를 살펴보고, 이를 구체적으로 설명하여 그 원인 규명에 이론적으로 접근하는 것이다.

이 연구의 내용을 살펴보면 다음과 같다. 먼저 제 2장에서는 포항항만의 잔잔환경 및 현황을 다루고 제 3장에서는 항내조선 중 천수 및 제한수역 영향을 고찰한다. 그리고 제 4장에서는 지금까지 전통적으로 알고 있는 추진기와 관련된 선박의 선회현상을 정리하고, 제 5장에서는 포항항에서 실제로 경험한 후진기관 사용시 발생하는 급격한 선수의 좌선회 현상과 그 당시의 요소를 살펴본다. 아울러 이런 요소를 기반으로 급격한 선수의 좌선회 현상을 설명한다. 마지막으로 제 6장에서는 결론을 제시한다.

## 1.5 용어의 정의

다음은 이 연구와 관련하여 사용된 용어를 정의하기로 한다.

- ① UKC(under keel clearance) :선저에서 해저면까지의 여유 수심
- ② 배수류의 측압작용 : 기관 후진 시 스크루가 역전하면 배수류는 선미로부터 선수 방향으로 좌선회하면서 방출된다. 따라서 우현측의 배수류는 우현선미 측을 거의 직각으로 때리게 되고 좌현측의 배수류는 선저면을 따라서 흘러나가므로 선미를 현저하게 좌현으로 밀어서 선수를 우선회시킨다. 이 현상을 배수류의 측압작용이라 한다.
- ③ 천수 영향(shallow water effect) : 수심이 얕아져서 선저하의 여유 수심(UKC)이 작아지면, 선저부와 해저부 사이의 유속이 증가되어 베루누이 정리대로 물의 압력이 감소됨으로 선체침하가 일어나 흡수가 늘고 마찰저항이 커지게 되며, 속력과 타효가 떨어지고 선체가 진동하게 된다. 물은 점성유체이므로 흐름이 다르고 압력분포가 다른 곳에서는 반드시 와류가 형성되기 마련이다. 이러한 경우는 선체하부의 흐름에 비정상적인 와류가 흐르게 되고, 유선은 교란작용을 받게 되어 침로 안정성이 저하되며 침로 유지가 불안정하게 된다. 이러한 현상을 천수 영향(shallow water effect)이라 한다.
- ④ 가속수류(accelerated flow) : 선박은 프로펠러를 회전시켜 물을 보내면서 프로펠러의 경사면에 작용하는 압력과 배수하는 물의 반작용으로 프로펠러의 피치만큼 전진 또는 후진을 한다. 일정 속력에 도달하면 즉, 선박의

타성이 일정 수준에 달했을 때 선박은 유체 속에서 자신의 이동타성에 의해 이동하고, 프로펠러의 추진력은 진행 중인 선박에 발생하는 모든 저항(형상저항, 수저항, 조파저항, 조와저항, 공기저항)을 제거하는데 사용된다. 그러한 속력이 달성되기 전까지의 가속 중에는 선박의 속력보다 프로펠러가 밀어내는 물의 속력이 더 빠를 것이 분명하다. 선속보다 빠른 이러한 물을 가속수류라고 하며, 상선의 범위에서는 기관의 회전수와 관계없이 선속보다 4~5노트 정도 빠르다.

일정 속력에 달한 선박은 프로펠러의 뒤쪽을 자세히 살펴보면, 주변의 다른 물보다 4~5노트 정도 빠른 가속수류를 볼 수가 있다. 선체 주위에 발생하는 저항을 제거하기 위한 추력을 만들고 있는 가속수류이다. 이러한 가속수류의 특성을 잘 살펴보면 전진타력 중에 후진기관을 사용할 때 배수류 측압작용이 발생하는 시점과 강해지는 시점, 또는 배수류의 측압작용의 영향이 소멸하고 선체가 직후진하는 메커니즘을 이해할 수 있다.

- ⑤ 방형 비척 계수( $C_B$ , Block Coefficient) : 특정 흘수에서 물속에 잠긴 선체의 비만도를 나타내는 계수로서 선박의 형 배수용적과 선체를 감싸고 있는 직육면체의 용적의 비를 말한다. 일반적으로 벌크 캐리어는 0.80-0.85 이고 컨테이너 선박은 0.50-0.70 정도이다.
- ⑥ 선체생성측압류(ship-generated wake current) : 선체가 선회를 하고 있으면 선수쪽은 교란되지 않은 물에 접하고 선미쪽은 이동하면 그곳을 채우려는 물의 흐름이 발생한다. 이 물의 흐름에 의한 측압류는 관성을 갖고 있으므로 선미를 계속 돌리려고 한다. 이렇게 선체의 이동에 따라서 추적하는 물의 흐름에 의한 힘을 '선체생성측압류'라고 정의하도록 한다.

## 제 2 장 포항항만의 자연 환경 및 현황

포항항만은 항만법상 1종 항만배후단지를 갖춘 국가관리무역항으로 1962년 6월 개항장(開港場)이 되었다. 이 항만은 영일만 내에 위치하여 항구로서 천연의 입지 요건을 갖추고 있고 대구·경북지방의 관문항구 역할을 하는 동시에 포스코 등의 배후 철강공단을 지원하고 있다.

포항항만은 신항과 구항으로 구성되는데 구항은 1962년 6월에 국제항으로 개항하였다. 신항은 1969년부터 건설이 시작되어 포항종합제철 및 관련 공업단지가 들어선 공업항이며 국내에서 최초로 10만톤급의 대형 선박이 접안할 수 있는 시설을 갖추었다. 또 포항항만은 1996년에 영일만항 개발에 착수하여 2009년 8월에 이를 대구·경북지방 최초의 컨테이너 부두로 개항하였다.

2009년 기준으로 주요 항만시설은 안벽 9,822m, 방파제 1만 2,052m, 물양장 2,981m 등이 있다. 선박접안능력은 모두 48척이며, 25만톤급 1척, 15만톤급 1척, 10만톤급 3척, 4만톤급 2척, 3만톤급 8척, 2만톤급 3척, 1만톤급 10척, 1만톤급 이하 20척이다. 연간 하역능력은 5,512만 5천톤으로, 신항이 5,108만 8천톤, 구항이 231만 7천톤, 영일만항이 172만톤 등이다.

### 2.1 포항항만의 자연 환경

#### 2.1.1 기상 환경

##### 1) 기상 개요

포항항만의 기상은 포항신항에서 가장 인접한 포항기상대에서 1979년부터 2010년까지 30여년간의 기상관측자료를 정리하여 분석한 보고서<sup>1)</sup>의 자료를 인

1) 포항신항 스웰 개선대책 시설사업 해상교통안전진단 보고서, 2012, 한국해양수산연수원

용하기로 한다.

한반도 동남부에 위치하고 있는 포항항은 대륙성 기후보다는 해양성 기후로 인한 해류의 영향을 받아 매우 온화한 기후를 나타내고 있다. 포항지역의 기상을 정리하면 <표 2-1>과 같다.

포항지역의 연평균기온은 14.1℃이며, 월별로는 8월의 평균기온이 25.6℃로 가장 높고, 1월의 평균기온이 1.7℃로 가장 낮게 나타났다. 최저기온은 -12.8℃(2004년 2월)이고 최고기온은 38.6℃(1994년 7월)를 기록하고 있다. 연평균강수량은 1,156.0mm이고, 연중 6월~9월 동안의 강수량이 746.7mm로 전체 강수량의 약 64.6%를 차지하며, 일 최대 강수량은 516.4mm(1998년 9월)를 기록하였다. 강풍방향은 북풍계로 계절별로는 가을철에 심하며 빈도상 최다풍향은 남서풍으로 강풍의 출현빈도는 거의 없다. 월별 최대풍속은 23.0m/sec (풍향 N)이며 월별 순간 최대풍속은 38.0m/sec (풍향 N)를 나타내었다.

기상연보를 정리 분석한 천기일수 중에 선박의 안전운항에 큰 영향을 주는 안개발생일수(시정 1.0km 이하인 안개)는 약 4.8일, 강수일수(10mm이상)는 약 32.5일로 나타났으며, 또한 결빙일수는 약 78.9일, 폭풍일수(13.9m/sec이상)는 약 1.6일을 기록하고 있다.

<표 2-8> 기상개요

월 별 항 목	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	전년
해면평균 기압(hPa)	1,023.0	1,021.7	1,019.2	1,015.5	1,011.9	1,008.8	1,007.6	1,009.5	1,014.2	1,018.8	1,022.0	1,023.2	1,016.3
평균기온 (℃)	1.7	3.6	7.9	13.6	18.1	21.5	24.8	25.6	21.5	16.5	10.2	4.2	14.1
최고기온 (℃)	17.5	22.7	26.0	32.8	38.1	37.7	38.6	38.2	35.9	30.5	26.6	20.6	38.6
최저기온 (℃)	-12.6	-12.8	-7.1	-0.5	5.4	9.0	15.0	15.8	9.6	0.5	-5.8	-11.6	-12.8
평균상대 습도(%)	50.2	52.5	57.4	58.4	64.7	74.1	78.9	79.0	75.7	65.9	58.4	51.9	63.9
최소상대 습도(%)	7.0	8.0	4.0	6.0	7.0	13.0	24.0	25.0	22.0	11.0	8.0	8.0	4.0
강수량(mm)	37.8	40.7	60.0	72.2	88.7	139.6	205.3	225.5	176.3	42.8	41.5	25.5	1,156.0

최대 풍속 (m/s)	16.7 NNE	15. W	15.7 ENE	18.0 N	18.0 N	13.7 NNW	19.3 NNE	23.0 N	18.5 SSE	17.7 NNE	14.0 WSW	16.7 N	23.0 N
순간 최대 풍속(m/s)	25.7 NNE	24.6 N	25.8 SW	34.0 N	23.8 NNE	22.4 NNE	30.4 S	38.0 N	29.3 SSE	31.0 NNE	24.2 W	23.0 W	38.0 N
평균 풍속 (m/s)	3.0	2.9	3.0	3.0	2.8	2.5	2.6	2.7	2.7	2.6	2.6	2.8	2.8
눈(일)	1.8	1.6	0.9	-	-	-	-	-	-	-	0.1	1.1	5.5
안개(일)	-	-	0.2	0.4	0.5	1.4	1.1	0.6	0.3	0.1	0.2	-	4.8
결빙(일)	25.9	19.3	7.7	0.3	-	-	-	-	-	0.1	5.1	20.6	78.9
뇌전(일)	-	-	0.3	0.6	0.9	0.9	2.9	3.3	1.1	0.3	0.2	-	10.5
맑음(일)	16.0	12.5	9.5	9.4	8.6	4.2	3.2	3.9	4.8	11.3	14.3	17.2	114.9
흐림(일)	4.8	5.3	7.9	7.1	8.7	12.6	15.7	12.7	11.3	6.1	4.4	2.9	99.3
강수(일)	1.4	1.4	2.3	2.6	2.4	3.5	5.8	5.6	4.1	1.4	1.2	0.9	32.5
폭풍(일)	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	-	0.1	0.3	0.3	0.3	-	-	1.6

주: 강수, 강설 : 10mm 이상, 폭풍 : 13.9m/sec 이상, 안개발생일수: Fog≤1.0km

### (1) 바람

<표 2-2>는 포항지역의 월별 평균 풍속, 최대 풍속 및 순간 풍속변화를 나타낸 것이고, <표 2-3>은 계절별 풍향 및 풍속 빈도율을 나타낸 것이며, <그림 2-1>은 포항지역의 바람장미도를 나타낸 것이다.

포항지방의 풍향은 계절풍의 영향을 받아 동계에는 남서계열, 하계에는 북동계열이 주이고 또 연간 평균 풍속은 2.8m/sec이고, 최대 풍속은 23.0m/sec이다. 전년을 통하여 N계열의 바람이 우세하게 나타나고 있다. 계절별로는 봄, 겨울철보다는 여름, 가을철이 다소 우세하나 큰 차이는 보이지 않았다.

<표 2-9> 별 평균 풍속, 최대 풍속 및 순간 풍속 변화

월 별 풍 속	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	전년
평균 풍속	3.0	2.9	3.0	3.0	2.8	2.5	2.6	2.7	2.7	2.6	2.6	2.8	2.8
최대 풍속	16.7 NNE	15.0 W	15.7 ENE	18.0 N	18.0 N	13.7 NNW	19.3 NNE	23.0 N	18.5 SSE	17.7 NNE	14.0 WSW	16.7 N	23.0 N
순간 최대	25.7 NNE	24.6 N	25.8 SW	34.0 N	23.8 NNE	22.4 NNE	30.4 S	38.0 N	29.3 SSE	31.0 NNE	24.2 W	23.0 W	38.0 N

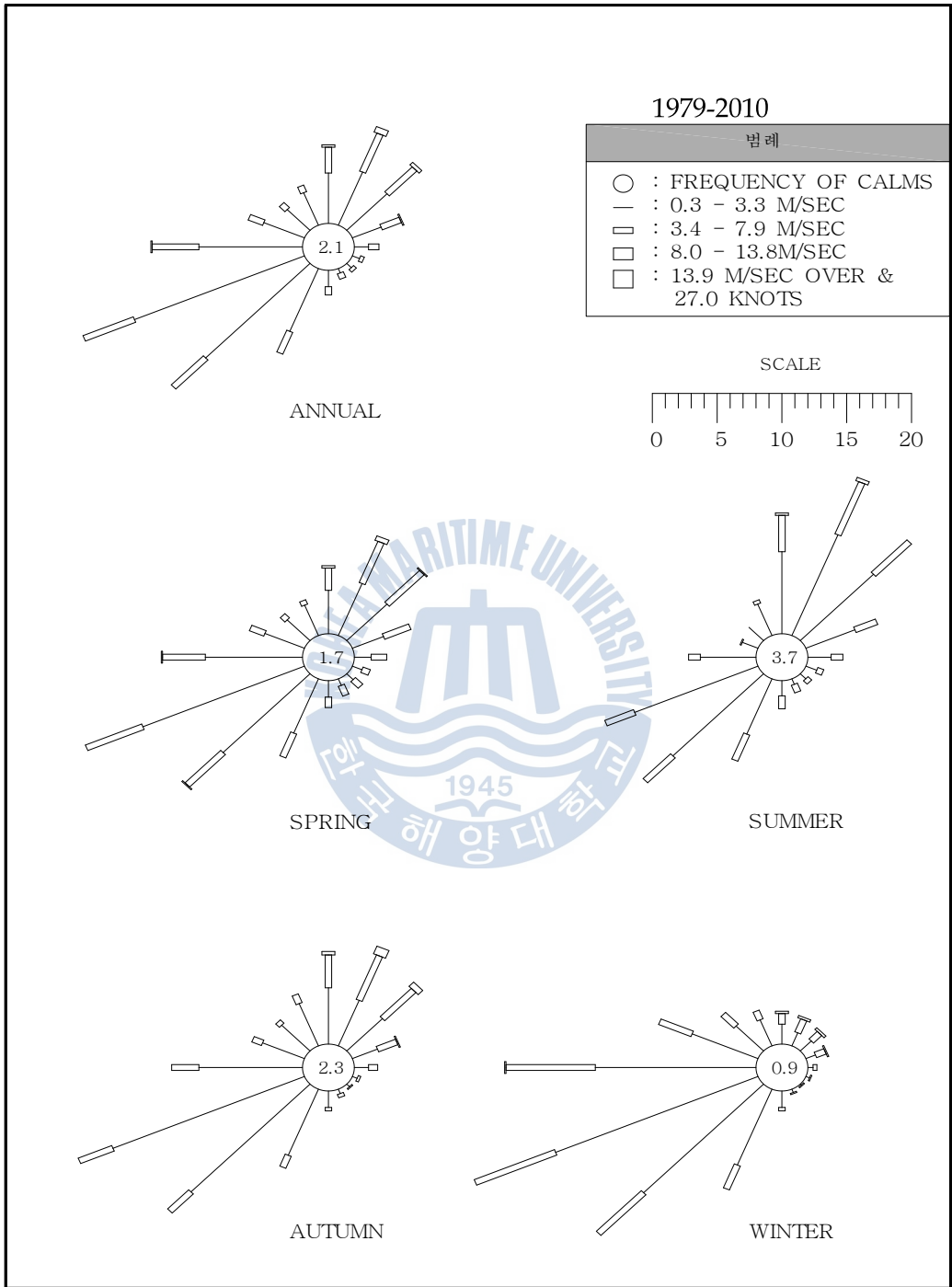
<표 2-10> 계절별 풍향 및 풍속 빈도율(%)

구분	월	풍향		CALM	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S
		풍속										
봄	3~5월	CALM		1.84	-	-	-	-	-	-	-	-
		0.3~3.3	-	4.34	4.24	2.58	1.31	0.71	0.64	0.56	1.48	
		3.4~7.9	-	3.43	3.33	2.06	1.13	0.50	0.73	0.83	0.86	
		8.0~13.8	-	0.58	0.37	0.13	0.03	-	0.01	0.02	0.01	
		⇒ 13.9	-	0.01	-	-	-	-	-	-	-	
		계		1.84	8.36	7.94	4.77	2.47	1.21	1.38	1.41	2.35
여름	6~8월	CALM		3.76	-	-	-	-	-	-	-	-
		0.3~3.3	-	9.13	8.34	3.92	1.79	0.88	0.64	0.52	1.50	
		3.4~7.9	-	4.50	3.77	1.64	0.87	0.45	0.49	0.86	1.30	
		8.0~13.8	-	0.52	0.25	0.02	0.01	-	0.01	0.02	0.03	
		⇒ 13.9	-	0.01	0.01	-	-	-	-	-	-	
		계		3.76	14.16	12.37	5.58	2.67	1.33	1.14	1.40	2.83
가을	9~11월	CALM		1.82	-	-	-	-	-	-	-	-
		0.3~3.3	-	2.99	2.84	1.51	0.70	0.34	0.22	0.35	1.52	
		3.4~7.9	-	2.44	2.19	1.09	0.43	0.13	0.08	0.18	0.31	
		8.0~13.8	-	0.35	0.21	0.10	0.01	-	-	0.01	0.01	
		⇒ 13.9	-	0.01	-	-	-	-	-	-	-	
		계		1.82	5.79	5.24	2.70	1.14	0.47	0.30	0.54	1.84
겨울	12~2월	CALM		1.10	-	-	-	-	-	-	-	-
		0.3~3.3	-	1.40	1.37	0.87	0.40	0.25	0.16	0.37	1.74	
		3.4~7.9	-	1.12	1.03	0.81	0.34	0.08	0.08	0.16	0.40	
		8.0~13.8	-	0.19	0.18	0.09	0.04	-	-	-	-	
		⇒ 13.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		계		1.10	2.71	2.58	1.77	0.78	0.33	0.24	0.53	2.14
전년		CALM		2.13	-	-	-	-	-	-	-	-
		0.3~3.3	-	5.46	2.66	2.19	2.86	2.94	3.45	4.04	3.82	
		3.4~7.9	-	0.93	0.56	0.63	0.76	0.82	1.25	2.16	2.45	
		8.0~13.8	-	0.05	0.03	0.03	0.02	0.04	0.07	0.11	0.09	
		⇒ 13.9	-	-	-	-	0.00	0.00	-	0.01	0.00	
		계		2.13	6.44	3.25	2.84	3.64	3.79	4.77	6.33	6.36



<표 2-11> 계절별 풍향 및 풍속 빈도율(%)

구분	월	풍향		SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	소계
		풍속										
봄	3~5월	CALM		-	-	-	-	-	-	-	-	1.84
		0.3~3.3		5.40	9.93	13.70	7.63	3.35	2.49	2.63	3.50	64.49
		3.4~7.9		2.20	3.87	5.17	3.99	1.28	0.57	0.45	1.57	31.97
		8.0~13.8		0.02	0.06	0.05	0.10	-	-	0.01	0.20	1.59
		⇒ 13.9		-	-	-	-	-	-	-	0.03	0.04
		계		7.62	13.86	18.92	11.72	4.63	3.06	3.09	5.30	99.93
여름	6~8월	CALM		-	-	-	-	-	-	-	-	3.76
		0.3~3.3		5.49	9.92	9.97	4.19	1.39	1.57	2.87	6.76	68.88
		3.4~7.9		2.44	3.11	2.40	0.92	0.12	0.05	0.28	2.94	26.14
		8.0~13.8		0.02	0.02	0.01	-	-	-	0.02	0.23	1.16
		⇒ 13.9		-	-	-	-	-	-	-	0.01	0.03
		계		7.95	13.05	12.38	5.11	1.51	1.62	3.17	9.94	99.97
가을	9~11월	CALM		-	-	-	-	-	-	-	-	1.82
		0.3~3.3		6.99	13.34	17.35	10.83	4.61	3.28	3.28	3.56	73.71
		3.4~7.9		1.40	2.91	3.84	3.63	1.50	0.82	0.68	1.90	23.53
		8.0~13.8		-	0.02	0.01	0.04	0.01	0.01	0.03	0.10	0.91
		⇒ 13.9		-	-	-	-	-	-	-	-	0.01
		계		8.39	16.27	21.20	14.50	6.12	4.11	3.99	5.56	99.98
겨울	12~2월	CALM		-	-	-	-	-	-	-	-	1.10
		0.3~3.3		8.18	13.86	16.56	11.79	5.36	2.93	2.31	1.84	69.39
		3.4~7.9		2.29	4.57	6.33	5.94	2.47	1.26	0.73	0.90	28.51
		8.0~13.8		-	0.03	0.05	0.10	0.02	0.01	0.01	0.14	0.86
		⇒ 13.9		-	-	-	-	-	-	-	-	-
		계		10.47	18.46	22.94	17.83	7.85	4.20	3.05	2.88	99.86
전년		CALM		-	-	-	-	-	-	-	-	2.13
		0.3~3.3		3.98	4.16	3.50	3.71	3.77	4.55	5.22	5.94	62.25
		3.4~7.9		2.73	2.80	2.24	2.65	2.89	3.10	3.19	2.08	31.24
		8.0~13.8		0.15	0.14	0.18	0.37	0.48	0.52	0.23	0.09	2.60
		⇒ 13.9		-	-	0.01	0.01	0.03	0.01	-	-	0.08
		계		6.87	7.11	5.93	6.75	7.16	8.18	8.64	8.11	100.00



<그림 2-1> 포항기상대 바람장미도(1979-2010년)

(2) 강수

<표 2-5>는 포항지역의 월별 강수량을 나타낸 것으로, 포항지방의 연평균강수량은 1,156.0mm이며, 6~9월에 집중되어 있다. 조사기간 중 연 최대강수량은 2,098.1mm(2003년)이며, 연 최소강수량은 600.0mm(1994년)로서 그 차이가 상당히 크게 나타났다. 일일 최대강수량은 516.4mm로 조사되었다.

<표 2-12> 월별 강수량

구분		월별												전년
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
강수량 (mm)	월평균	37.8	40.7	60.0	72.2	88.7	139.6	205.3	225.5	176.3	42.8	41.5	25.5	1,156.0
	일최대	55.6	48.6	42.4	57.8	122.0	150.5	100.0	315.6	516.4	75.0	52.4	54.9	516.4

\* 자료 : 기상연보 (포항기상대, 1979-2010년)

(3) 안개

<표 2-6>은 포항지역의 월별 평균 안개 발생일수를 나타낸 것으로, 포항지역의 안개 발생일수(가시거리:1km미만)는 연간 약 4.8일로 나타났다.

<표 2-13> 월별평균 안개 발생일수

구분		월별												전년
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
일 수		-	-	0.2	0.4	0.5	1.4	1.1	0.6	0.3	0.1	0.2	-	4.8

\* 자료 : 기상연보 (포항기상대, 1979-2010년)

(4) 태풍

가. 태풍 개요

태풍은 북태평양 서부에서 발생하는 열대성 저기압 중에서 중심부근의 최대 풍속이 17m/s 이상의 강한 폭풍우를 동반하고 있는 것을 말하는데, 폭풍우는

반드시 태풍과 동반되는 것이 아니고 온대성 저기압에서도 발생하는 경우가 많으나 그 발생원인과 양상이 다르기 때문에 열대성 저기압과 온대성 저기압은 구별되고 있다. 세계기상기구(WMO)에서는 중심부근의 최대풍속에 따라 4계급으로 분류하며, 열대폭풍부터 태풍의 이름을 붙이고 있다. 우리나라와 일본은 열대폭풍(TS)이상을 태풍이라고 부르고 있다.

<표 2-14> 태풍의 구분

중심부근 최대풍속	17m/s (34kts 미만)	17~24m/s (34~47kts)	25~32m/s (48~63kts)	33m/s (64kts 이상)
세계기상기구	약한 열대 저기압 Tropical Depression(TD)	열 대 폭 풍 Tropical Storm(TS)	강한 열대폭풍 Severe Tropical Storm (STS)	태 풍 Typhoon (TY)
한 일 국 분	약한 열대 저기압	태 풍		

\* 자료 : 기상청 (2011년)

#### 나. 태풍 경로

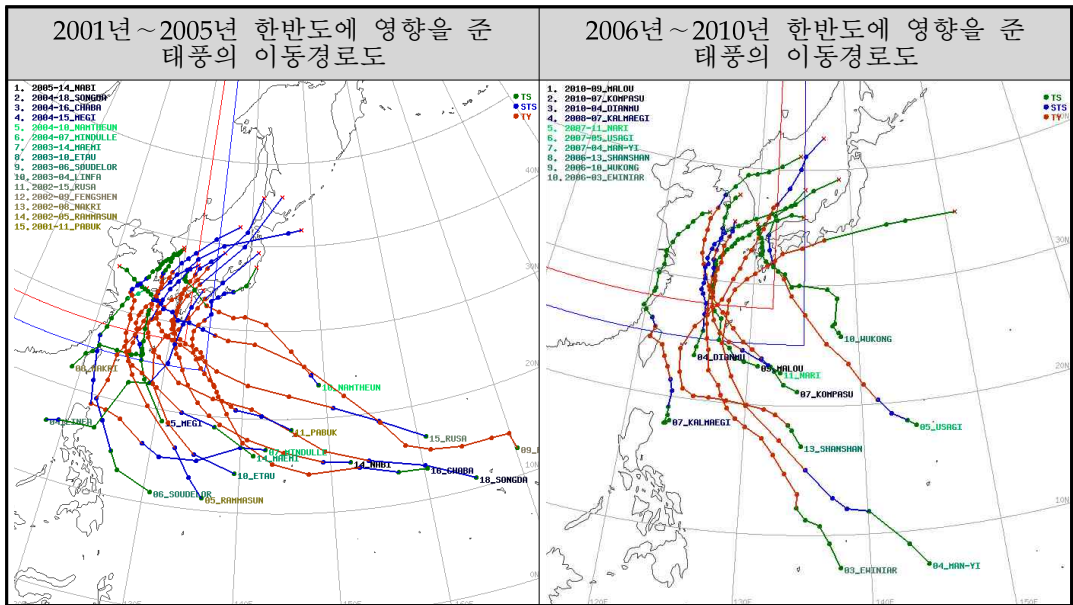
우리나라 부근을 통과하는 태풍 경로를 살펴보면, 다음의 3가지 유형으로 분류할 수 있다.

한반도 남해안과 일본의 큐슈사이를 통과하여 북동쪽으로 진행 후 동해로 빠지는 태풍, 한반도 서해를 북상하여 만주로 빠지는 태풍, 제주도 부근에서 북상하다가 경기만 부근에서 한반도의 가장 좁은 부분인 중부를 횡단하여 동해북부로 빠지는 태풍 등이다. 이들 태풍경로 중 남해를 거쳐 동해로 빠지는 태풍이 가장 위력적으로 남해안에 영향을 주고, 남해에서 서해로 북상하는 태풍도 남해안에 풍랑을 크게 유발시켜 많은 피해를 준 것으로 나타나고 있다. 2001년부터 2010년까지 10년간 한반도 서해안에 영향을 미친 태풍의 현황은 <표 2-8>과 같으며, <그림 2-2>는 태풍의 이동경로를 나타낸 것이다.

<표 2-15> 한반도에 영향을 미친 태풍개요

태풍번호	태풍이름	발생일	발생 위치		중심 최저기압 (hPa)	중심 최대풍속 (m/sec)
			북위(N)	동경(E)		
0111	PABUK	2001. 8. 14	16.4	147.4	955	41
0205	RAMMASUN	2002. 6. 29	9.8	138	945	48
0208	NAKRI	2002. 7. 9	21.3	116.4	985	19
0209	FENGSHEN	2002. 7. 15	10.9	171.8	920	55
0215	RUSA	2002. 8. 23	14.9	163.8	950	44
0304	LINFA	2003. 5. 26	16.5	118.5	980	30
0306	SOUDELOR	2003. 6. 13	9.1	136.9	955	44
0310	ETAU	2003. 8. 3	12.4	140.2	945	44
0314	MAEMI	2003. 9. 5	9.9	153.1	910	58
0407	MINDULLE	2004. 6. 23	14.6	146	940	50
0410	NAMTHEUN	2004. 7. 25	20.7	151	945	48
0415	MEGI	2004. 8. 16	14.7	140.9	970	36
0416	CHObA	2004. 8. 19	11.2	165	910	62
0418	SONGDA	2004. 8. 28	10.5	171	935	50
0514	NABI	2005. 8. 29	14.6	154	925	53
0603	EWINIAR	2006. 7. 1	6	139.8	920	55
0610	WUKONG	2006. 8. 13	20.7	141.2	980	25
0613	SHANSHAN	2006. 9. 10	13.3	138.7	925	56
0704	MAN-YI	2007. 7. 9	7.5	144.4	930	52
0705	USAGI	2007. 7. 29	181	144.5	945	49
0711	NARI	2007. 9. 13	22.7	132.9	935	52
0807	KALMAEGI	2008. 7. 15	18.1	123.7	960	42
1004	DIANMU	2010. 8. 8	23.6	125.1	980	33
1007	KOMPASU	2010. 8. 29	21.2	134.4	960	43
1009	MALOU	2010. 9. 3	23.2	130.9	990	26

- 주) 1. 자료 : 기상청 (2001 ~ 2010)  
 2. 중심 최저 기온과 중심 최대 풍속은 그 태풍의 일생에서 취한 값임.  
 3. 우리나라에 영향을 미친 태풍들만을 정리한 것임.



<그림 2-2> 태풍 이동 경로도

## 2.1.2 해양 환경

기상환경과 함께 선박운항에 영향을 주는 요소로는 해상환경이 있다. 포항신항과 인근해역의 조석, 조위, 조류와 해류 등에 관한 정보는 다음과 같다.

### 1) 조석

동해안의 조석은 조차가 매우 적어 약 30cm 정도밖에 안되고, 평균 고조간격은 연안의 대부분에서 약 3~4시간으로서 춘·추계의 삭망 전후에는 대체로 월 2회의 고조와 2회의 저조가 있고, 조차시의 부등은 고조시에 크고 고조의 부등은 저조에 크며 고고조와 저저조가 일어난다. 평균해면은 2~3월경이 최저이고 7~8월경에 최고조로 되며, 그 차는 약 30cm에 달하고 있다. 포항항의 조석자료에 의하면 당 해역은 조석형태수  $F=(H'+H_0)/(H_m+H_s) = 2.24$ 를 갖는 일주조가 우세한 혼합조 형태로서 일조부등이 심하여 때로는 1일 1회조가 되는 경우도 있다. 대소조차 각각 7.6cm 및 4.8cm 정도로 전국 항만 중에서 가장 적은 값을 나타내고 있다.

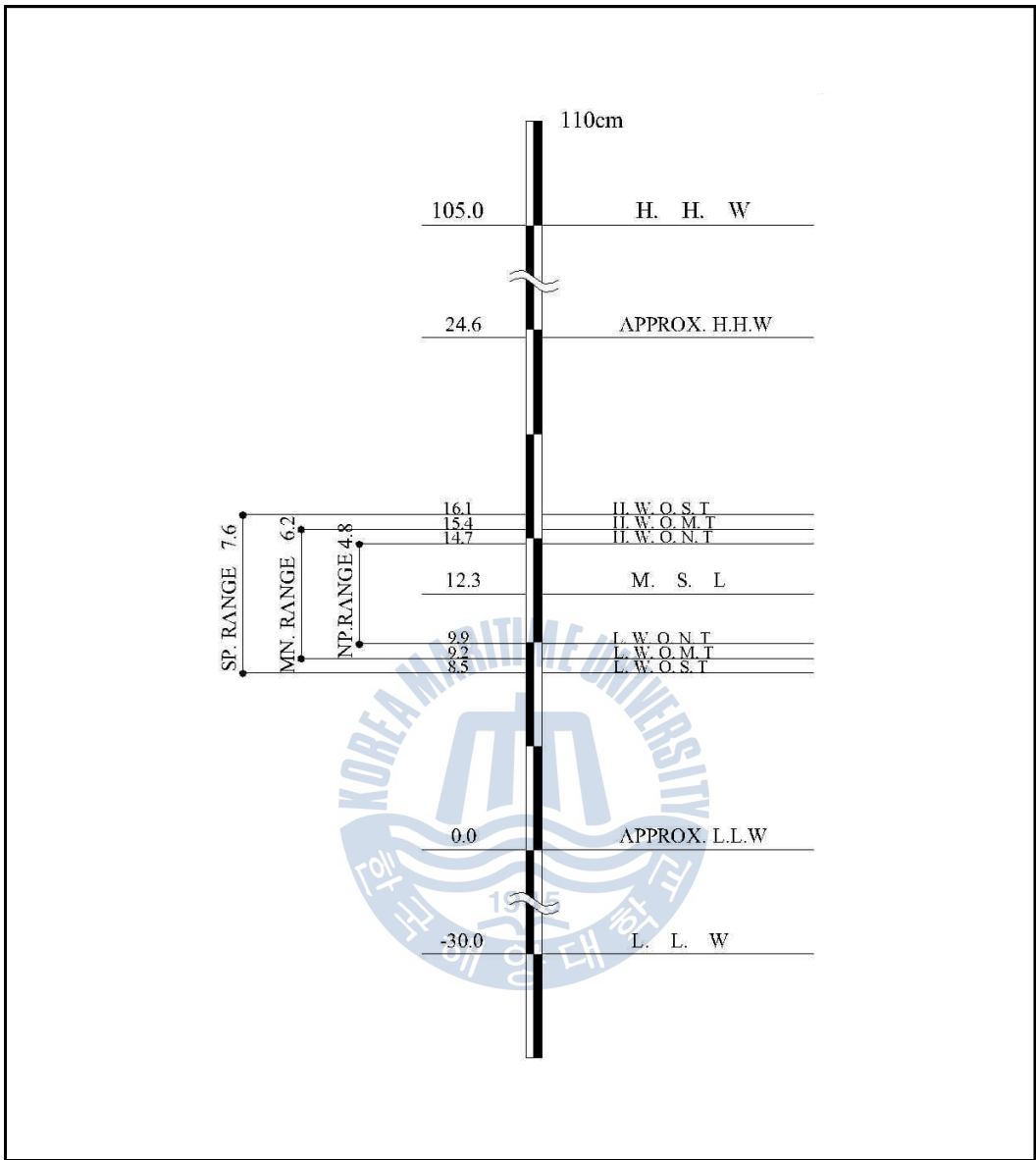
평균 고조간격은 4시간 10분으로 부산항부근(약 8시간)의 절반 정도이며 춘추

계의 삭망 전후에는 대개 규칙적으로 1일 2회 고조와 저조가 있고 그 외에는 일조부등이 있어서 고조시에는 약간 큰 부등이 있으나 저조시에는 규칙적으로 일어난다. 이에 반하여 계속되는 고조의 높이는 거의 같으나 계속되는 두 저조의 높이는 부등이 크며 부등이 현저할 때 저조는 1회 소실하며 1일 1회의 고조와 1회의 저조가 될 때도 있다. 이러한 현상은 춘·추계에는 야간에 추·동계에는 주간에 일어나는 것이 보통이다.

한편 포항항의 조석관측은 1963년 및 1968년 2월에 2개월 및 1개월간 시행하였고 1972년 이후에는 국립 해양조사원에서 계속적으로 관측하고 있으며 그 성과 중 현재 채택하고 있는 조석조화상수 및 비조화상수는 다음 <표 2-9>와 같다.

<표 2-16> 기존 관측 조석의 조화상수 및 비조화상수

위 치		포 항 항	
위 도		36° 01' 04" N	
경 도		126° 23' 57" E	
		cm	지각
M2	주 태 일 음 반 일 주 조	3.10 (3.08)	120.6 (120.56)
S2	주 태 일 양 반 일 주 조	0.70 (0.70)	167.3 (167.32)
O1	주 태 음 일 주 조	4.30 (4.30)	325.7 (325.70)
K1	일 월 합 성 일 주 조	4.20 (4.15)	3.2 ( 3.16)
평 균 고 조 간 격	(M. H. W. I)	4h 9m (04시 09분)	
고 극 조 위	(H. H. W)	105.0cm	
삭망평균 만조위	(H. W. L)	40.0cm	
약 최 고 고 조 위	(Approx. H. H.)	24.6cm	
대조평균 고조위	(H. W. O. S. T)	16.1cm	
평 균 고 조 위	(H. W. O. M. T)	15.4cm	
소조평균 고조위	(H. W. O. N. T)	14.7cm	
평 균 해 면	(M. S. L)	12.3cm	
소조평균 저조위	(L. W. O. N. T)	9.9cm	
평 균 저 조 위	(L. W. O. M. T)	9.2cm	
대조평균 저조위	(L. W. O. S. T)	8.5cm	
약 최 저 저 조 위	(Approx. L. L. W)	0.0cm	
삭망평균 간조위	(L. W. L)	-5.0cm	
대 조 차	(Sp. Range)	7.6cm	
평 균 조 차	(Mn. Range)	6.2cm	
소 조 차	(Np. Range)	4.8cm	



<그림 2-3> 포항 조위도

## 2) 조류 및 해류

포항을 접하고 있는 해역은 영일만을 끼고 남북으로 구분하고 있는데 동해에는 쿠로시오해류의 지류인 쓰시마 해류가 한반도의 동남부에서 대한해협을 거쳐 북쪽으로 흐르고 있어서 한반도의 해안선을 따라 두 해류가 만나고 있다.



쓰시마 해류는 저위도 지역의 온난한 해수를 고위도 지역으로 운반하며 계절에 변화없이 38°N 이남에서 동쪽방향으로 전환되고, 이들 해류는 131°- 132°E 부근에서 남하하여 호미곶 부근에서 서쪽방향으로 전환하는 한편 리만 해류는 고위도 지방에서 발생하여 온난한 해류와 만나 영일만으로 유입되고 있다. 영일만 주위의 조석간만의 차이는 미약함으로 이로 인하여 발생하는 조류는 퇴적물 이동에 큰 영향을 주지 못한다.

영일만에서는 북쪽에서 내부를 향하여 흐르는 한냉한 해수가 형산강 하구로부터 호미곶을 향하여 이동하며, 일부는 남쪽에서 호미곶-마산동 연안을 따라만의 내부에 들어와 약화된다. 호미곶-마산동에서의 표층류는 동해와 호미곶을 향해 이동하며, 이 해류의 유동은 뚜렷하지 않으나 만입구는 조류와 해류의 지배를 받고 있으며 유속의 세기가 6cm/sec 이하이고 만의 입구에서는 동절기에 10~20cm/sec, 하절기에 20~30cm/sec 정도로 나타나고 서북진하여 만내로 일부가 흘러들어 오고 있다. 하절기에는 만 입구 북쪽에서 냉수(15℃이하)가 유입되어 북쪽에서 발원한 북한난류가 남하하는 특성을 볼 수 있다. 또 홍수 시에는 형산강에서 유입하는 유출수가 만내의 남동해안을 따라 흐른다.

## 2.2 포항항 항만시설의 현황

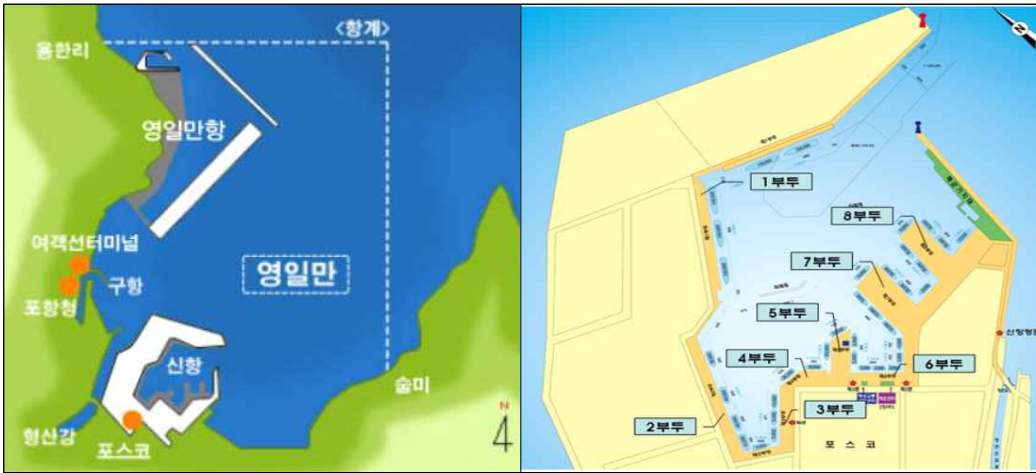
포항항은 1962년 6월에 국제항으로 개항한 약 50년의 역사를 갖고 있는 항만으로 자연적인 조건과 입지적인 여건이 비교적 양호한 항만으로 한반도의 동남부에 위치하여 대구 및 경북 일원의 관문역할을 하고 있다. 그리고 포스코 등 배후 철강공단을 지원하는 신항과 모래, 유류 등을 취급하는 구항(송도부두, 여객부두 및 동빈부두) 그리고 2009년 8월 대구, 경북 최초의 컨테이너 부두로 개장한 영일만항이 있다.

### 2.2.1 포항항만의 개요

포항항의 항계는 포항시 용한리 정동측 연장선과 포항시 술미에서 정북으로 연결하여 맞닿는 선내수역으로 하고 있으며, 항만구역은 105,663천㎡(육상: 2,011천㎡, 해상: 103,652천㎡) 정도이다. 항만의 수심은 구항은 3.5m~7m, 신항은 3.5m~19.5m, 영일만항은 2.5m~12.0m이고, 선석수는 54개(신항 38, 구항 9,

영일만항 7)로서 접안능력은 150만톤, 하역능력은 약 9,100만톤 정도이다.2)

<그림 2-4>는 포항항만의 항세도와 포항신항을 나타낸다.



<그림 2-4> 포항항만의 항세도와 포항신항의 평면도

특히 포항신항은 포항항만의 중심적인 역할을 담당하는 항만으로서 <그림 2-4>와 같이 8개의 부두로 구성되어 있고, 시설현황은 <표 2-10>과 같다. 이들 부두 중에서 이 연구와 관련된 부두는 1부두로서 주로 포항제철소의 초대형 원료선들이 접안 작업하는 곳이다.



<그림 2-5> 포항신항의 1부두에서 원료선의 접안작업 모습

2) 자료 : 포항지방해양항만청, 2013년

<표 2-10> 포항신항 시설현황

항 목	구 분	규 모	능 력
접안시설	부두	8,735m	38 척(1,346 천톤)
	물양장	25m	
정박시설	정박지	19개소	19척
보관시설	창고	7동(22,288m <sup>2</sup> )	60.6 천톤
	야적장	639,265m <sup>2</sup>	2,931 천톤
하역장비	합 계	38 기	
	UNLOADER	14 기	1,500~3,000 T/H
	SHIP LOADER	1 기	650 T/H
	B.T.C	14 기	25~45 톤
	L.L.C	6 기	25~45 톤
	O.H.C	1 기	30 톤
	H.M.C	2 기	47 톤, 104 톤
연간하역 능력		86,184 천톤	

### 2.2.2 대상 수역시설의 현황<sup>3)</sup>

#### 1) 대상선박

포항신항의 포스포 원료부두에 접안조종 중에 발생하는 후진기관 사용시 급속한 선수좌선회 현상에 대한 대상선박의 제원은 다음과 같다.

<표 2-18> 시뮬레이션 대상선박의 제원

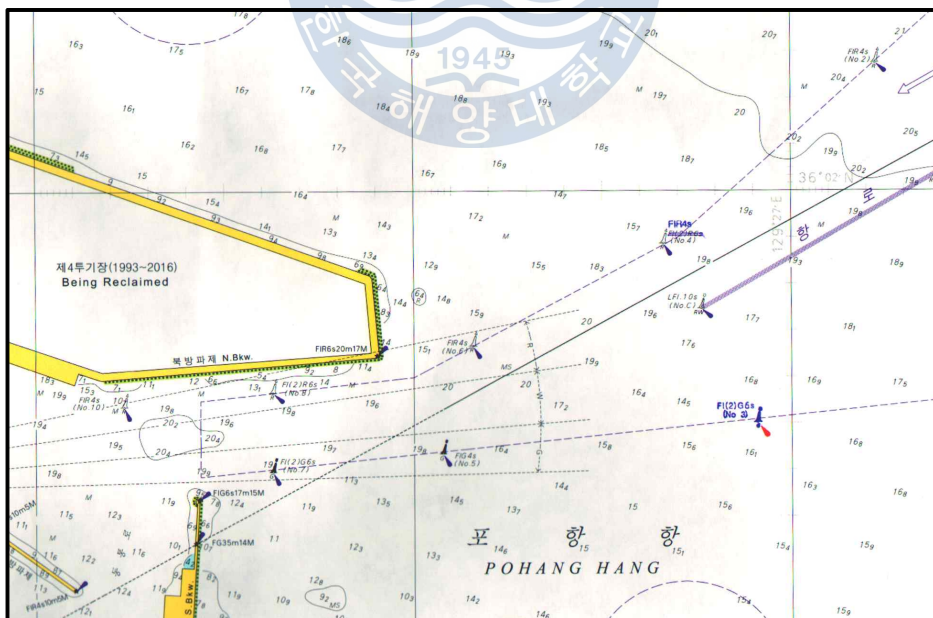
DWT	전장(LOA)(m)	선폭(m)	흘수(m)
211,474 ton	299.94	50.00	18.08

3) 포항신항 스웰 개선대책 시설사업 해상교통안전진단 보고서(한국해양수산연수원), 2012년 6월

## 2) 항로의 배치

<그림 2-6>에서 보는 것과 같이 포항신항 진입항로는 No. C 부표에서 진입 침로 242°에서 최소항로 폭 300m 수로를 진입하여 No. 5 부표를 좌현으로 150m 떨어져 264°를 변침하여 마찬가지로 항로 폭이 300m인 수로를 따라서 북방과제 및 남방과제 중앙으로 통과하여 항내로 진입하게 된다. 남·북 방과제를 통과한 후 예정 선석인 제 1부두 10번 선석으로 향하기 위해서는 264°침로를 거의 그대로 유지하면 된다. 따라서 입항 시 변침은 22°(242°~264°) 정도 이루어지며 변침 후 방과제 입구까지의 거리는 약 900m이며, 제 1부두 전면의 선회장까지 약 1,000m 정도(변침 후 총 약 1,900m 거리)이다.

이러한 변침구간에서 변침 후 요구되는 안전거리는 211K DWT급 선박이 침로를 변경하고 침로를 유지하기 위하여 필요한 안전의 최소 직선거리(PIANC 기준:  $LOA \times 5$  배 이상 =  $300m \times 5 = 1,500m$ )와 비교하여 부족하지는 않으나, 제 1부두 전면 선회장에 이르러서는 선속이 거의 1~2노트까지 감속시켜야 하기 때문에 No. C 부표를 통과한 후에는 예인선의 보조를 받아야 할 필요가 있다.



<그림 2-6> 포항신항의 진입항로

또한 항로의 변침지점에서의 변침 각도는 우리나라 및 일본의 항로설계 기준인 30°이내의 범위(포항신항 진입로의 경우 26°) 내이며, 횡방향의 조류 등의 영향이 거의 없기 때문에 문제가 없는 것으로 판단된다.

### 3) 항로의 폭

포항신항의 진입항로 및 출항항로(남·북방파제~No.5 부표)는 모두 300m로서 211K DWT급 선박의 편도항로에 필요한 기준(PIANC기준 300m, 미국 168m, 한국/일본 170m)을 만족하나, 왕복항로로서의 최소 안전 항로폭은 만족하지 못한다. 따라서 입·출항 항로의 분기점인 No. C 부표까지는 편도통항을 원칙으로 하여야 할 것이다.

<표 2-19> 대상 통항선박에 대한 항로설계 기준상의 필요 항로폭

구 분		선폭(B)=50m 전장(L)=300m	필요 항로 폭(m)
왕복 항로	PIANC (8~15B)	B = 50	400~750
	미국 (5.4~8.5B)	B = 50	270~425
	일본, 한국 (1.5~2.0L)	L = 300	450~600
편도 항로	PIANC (5~10B)	B = 50	250~500
	미국 (2.8~6.2B)	B = 50	140~310
	일본, 한국 (0.5~1.0L)	L = 300	150~300

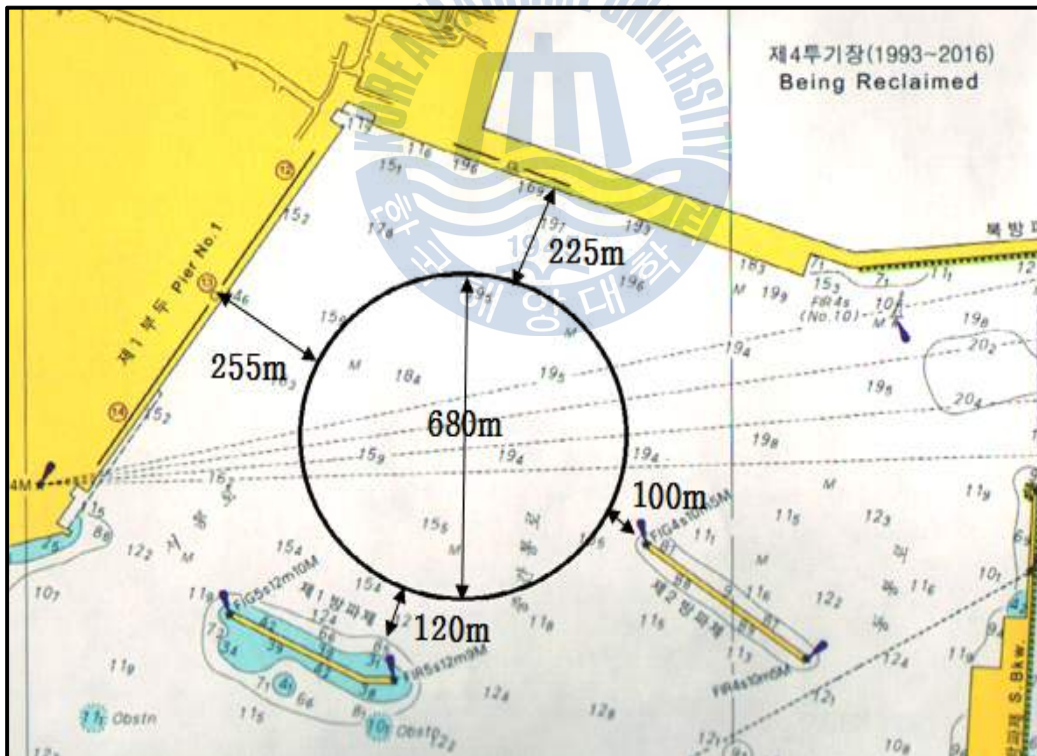
### 4) 선회장

부두를 이용하는 선박이 부두 전면해역에서 필요로 하는 최소한의 선회장 크

기는 선박 길이(LOA)의 2배인 600m의 직경을 가진 원형 면적이다. 현재 제 1부두 10선석 전면에는 제 1과제제가 놓여 있고, 그 인근에는 수심이 10m가 되지 않는 얕은 곳이 있어서 이러한 장소로부터 최소한의 안전거리를 유지하면서 선회장을 확보할 경우 <그림 2-7>과 같다.

선회장의 중심위치가 부두에서 약 700m나 떨어져 있기 때문에 예인선을 이용하여 이동하여야 하는 거리가 멀어 출항 시 강한 북풍이 있게 되면 밸러스트 상태의 넓은 풍압면적에 의한 선체의 선회를 동반한 풍하측으로의 압류현상으로 제 1과제제 및 제 2과제제 등에 가깝게 접근할 위험성이 있을 수 있으며, 이러한 문제점에 대한 안전성은 추후에 검토되어야 할 사항으로 판단된다.

또한 10선석에 선박이 접·이안 하는 동안에는 제 2부두~제 4부두에 입·출항하는 모든 선박은 제 1과제제와 제7부두 사이로 하여 동 통로를 이용하여 통항하든가 아니면 입·출항 대기를 하여야 할 것이다.



<그림 2-7> 포항신항의 선회장 위치

### 2.2.3 대상 수역의 수심

대상선박의 최대 흘수(18.08m)에 따른 안전통항을 위한 필요 수심을 PIANC 룰에 따라서 산출한 결과는 다음 <표 2-13>과 같다.

<표 2-20> 대상선박에 대한 항로설계 기준상 필요수심

구 분	선저여유수심	필요 수심(m)
Open sea 해역, 항로	20%	21.70
조선 및 접·이안 해역 (남/북 방파제 내측)	7%	19.35

#### 1) 항로의 수심

포항신항 진입항로 전체의 해도 상 수심은 No.4 부표에서 남·북 방파제 내측까지 가장 얇은 곳이 19.6m이며, 방파제 이후 선회장까지 최소 수심이 15.4m 정도이다<sup>4)</sup>.



<그림 2-8> 포항신항 항로의 수심

4) 2010년 2월 국립해양조사원 발행해도 #135 기준

현재 포항항의 평균해면은 조석기준면에서 (+)0.12m, 대조승은 (+)0.2m, 소조승은 (+)0.1m, 연간 최저 해면의 높이는 (-)0.13m이다. 조석간만에 의한 차이는 거의 없는 상태로서 장차 입항 선박의 최대 흘수(18.08m)를 기준할 경우, 연간 조석에 상관없이 안전한 통항이 가능하도록 하기 위한 최소한의 수심확보는 다음의 <표 2-14>와 같다.

<표 2-21> 대상선박에 대한 항로설계 기준상 필요 수심

구 분	남·북 방파제 외해 (최대흘수 x 1.20)	남·북 방파제 이내 항만 (최대흘수 x 1.07)
안전통항 최소 수심	21.70m	19.35m
현 수심확보 계획	22.00m	19.50m
현 해도 최저수심 지역	19.60m	15.50m
계획대비 과부족 수심	(+)0.30m	(+)0.12m
연간 최저해면	(-)0.13m	(-)0.13m
추가 확보 수심	-	-

현재 항만의 준설수심 확보계획에는 방파제 입구지역 22.0m, 제 1부두 10선석까지 19.5m까지 준설하는 것으로 되어 있어, 대상선박(211K DWT급)이 만재상태로 안전한 입·출항을 위한 수심에는 별 문제점이 없는 것으로 판단된다.

## 2) 선회장의 수심

현재의 준설계획상 선회장의 수심은 DL(-) 19.50m로서 이것을 기준할 경우 211K DWT급 대상선박이 최대 흘수상태로 입·출항하는 데는 별다른 문제점이 없을 것으로 판단된다.

## 3) 닻 정박지의 수심



현재 포항신항 닻 정박지 중에서 수심이 25.20m 이상을 확보하고 있는 곳은 없다. M-12 닻 정박지의 최저 수심이 25.0m이다. 이에 만재흘수 21.00m인 300K DWT급 대상선박이 만재상태로 정박하기 위해서는 추가로 닻 정박지를 확보하는 것이 필요하다.

## 2.3 포항항만의 예선 현황

### 2.3.1 포항신항의 예선 현황

현재 포항신항에서 운영하고 있는 예선 현황은 아래의 <표 2-15>와 같다.

<표 2-22> 포항신항에서 운영중인 예선 현황

크기(마력)	총계	2,400	2,600	3,000	3,800	4,800
척수(척)	9	1	2	4	1	1

### 2.3.2 예선운영 세칙

포항항 예선운영세칙은 포항지방해양항만청 고시 제2010-67호로 1998년 7월 27일에 제정되고 2010년 12월 17일에 개정되었다.

예선사용 대상선박은 포항항에 입·출항하여 부두 및 계류시설에 접·이안하고자 하는 총톤수 2,000톤(외항선 및 위험물 취급선박은 총톤수 1,500톤)이상의 선박이며 이들 선박은 이 세칙에 따라 예선을 사용하여야 한다.

위험물 운송선박이 아닌 압항부선이나 기타 예선사용이 필요하지 아니하다고 청장이 인정하는 경우에는 예선 사용이 면제되며, 항만시설 보호 및 선박안전 확보를 위하여 필요하다고 인정하는 경우에는 대상선박이 아니라도 예선사용을 하게 할 수 있다. 포항항의 예선사용기준은 <표 2-16>과 같다.

또 예선운영세칙은 기상악화시 또는 위험물 적재선박, 야간 입·출항 선박, 군함, 경비정 또는 해난을 당한 선박 등의 이·접안 작업 시에는 예선사용 기

준에도 불구하고 고마력 예선을 사용할 수 있다.

<표 2-23> 포항항의 예선 사용 기준

이.접안선박톤수 (G/T)	예선사용마력 (HP급)	사용예선 척 수	형식별 사용 구분	
			입항	출항
5천톤 미만	1,000마력급	1척	ZP 1척	ZP 1척
5천톤 - 1만톤	1,000마력급	1척	ZP 2척	ZP 2척
	2,000마력급	1척		
1만톤 - 2만톤	2,000마력급	1척	ZP 2척	ZP 2척
	3,000마력급	1척		
2만톤 - 3만톤	3,000마력급	2척	ZP 2척	ZP 2척
3만톤 - 4만톤	3,000마력급	1척	ZP 2척	ZP 2척
	4,000마력급	1척		
4만톤 - 6만톤	2,000 - 4,000	5척	ZP 4척	ZP 4척
6만톤 - 8만톤	2,000 - 4,000	5척	ZP 5척	ZP 5척
8만톤 - 10만톤	2,000 - 4,000	5-6척	ZP 6척	ZP 5척
10만톤이상	2,000 - 4,000	6척	ZP 6척	ZP 6척
* 예선사용마력 구분 1,000급 : 1,000 - 1,999마력 2,000급 : 2,000 - 2,999마력 3,000급 : 3,000 - 3,999마력 4,000급 : 4,000 - 4,999마력				

## 제 3 장 항내조선에서의 천수 및 제한구역 영향 고찰

이 연구에서 항내조선은 천수 및 제한구역의 영향을 받는 특수한 상황이다. 이하에 이들에 대하여 기술하기로 한다.

### 3.1 천수의 영향

선박이 자신의 흘수에 비하여 수심이 낮은 천수구역에 진입하면, 선수미에 생성되는 조파의 성질과 선체의 주위를 흐르는 수류에 변화가 생겨나서 천수영향이 생긴다. 선체의 진행에 따라 발생하는 조파의 성질은 심해파로부터 천수파로 변하는데, 천수파는 심수역과 같이 완전한 원운동을 하지 못하고 타원운동을 하기 때문에 파속(波速)이 떨어져 선속에 뒤처지게 되고 이로 인하여 트림의 변화가 발생한다.

심해역에서 선측과 선저를 자유롭게 흐르던 선체 주위의 수류는 천수역에서는 다르게 나타난다. 즉, 선저 아래의 공간적 제한으로 인해서 선저 하의 수류는 유속이 빨라지며 그에 따라 압력이 떨어지고, 선저를 미처 지나지 못한 물은 선측의 수류와 합류하여 지난다. 이로 인하여 선체 주위의 유속, 수압, 수위 등의 변화가 있어 마찰저항의 증가, 선속의 변화, 타효의 저하, 조종성의 둔감, 흘수 및 트림의 변화 등 천수영향이 발생한다.<sup>5)</sup>

#### 3.1.1 천수영향의 개요

##### 1) 천수에서의 속력의 저하

선체주위의 흐름이 3차원에서 2차원적인 평면상태가 되기 때문에 선저부의 흐름이 빨라져 마찰저항이 증가한다. 또한 조파저항이 증가하여 선속이 감소한

5) 한국해대 마린에듀텍, 선박조종능력향상교육(Ship Handling Simulation training course) 교재, 2013

다. 이러한 선속 감소는 원인별로 다음과 같이 나누어 생각할 수 있다.

(1) 마찰저항의 증대

가속된 선저수류 때문에 마찰저항이 커질 뿐만 아니라 이로 인하여 침하된 선체는 흘수를 증대시켜 침수면적을 넓힘으로써 마찰저항으로 인한 속력의 감소는 더욱 커진다.

(2) 조파저항의 증대

미처 유통하지 못한 물이 선수 전방으로 밀리면서 고압부를 형성하여 저항으로 작용하는 것 이외에, 선저를 통하지 못하고 선측으로 배제된 물은 압력변화의 범위가 넓어짐에 따라 조파를 증대시킨다.

(3) 추진효율 감소

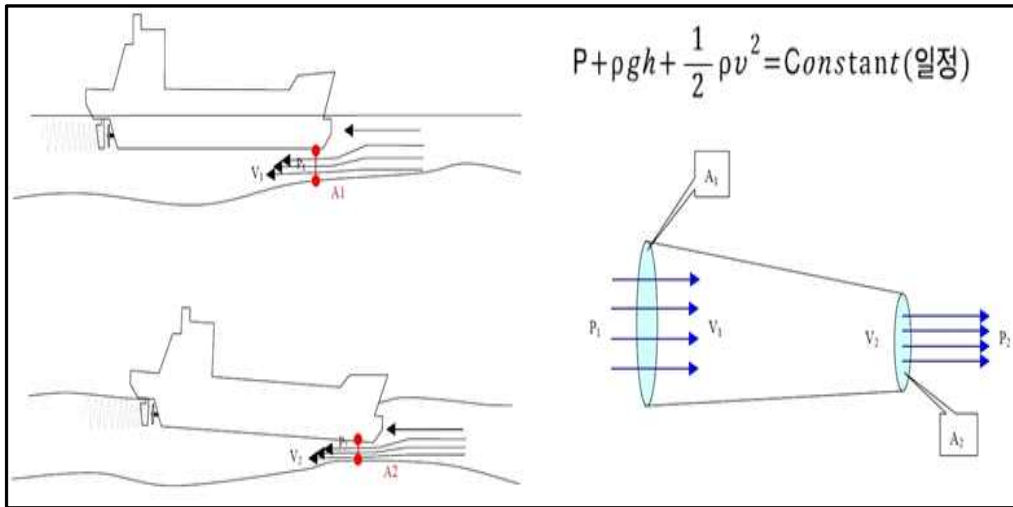
빠른 속력으로 선저를 통과한 물은 선미에서 급속히 사방향(斜上向)으로 떠오르며 난류를 형성하여 추진기의 효율을 감소시킬 뿐만 아니라 타효를 떨어뜨려 조타를 유발시키는데 이러한 것들은 모두 추진효율 감소로 나타난다.

(4) 선저와 해저간의 흡인력 작용

선저의 가속된 유속은 흡인력을 유발하고 이것은 전진에 대한 저항으로 작용한다.

2) 항주 중의 선체침하와 흘수 및 트림의 변화

수심이 충분하지 못할 때에는 선저와 해저 간을 유통하는 수류의 단면적이 적기 때문에 '연속의 법칙'에 의하여 유속이 빨라지게 된다. 유속이 빨라지면 선저하의 압력은 베르누이 정리에 의하여 감소된다. 이러한 선저하의 압력 감소로 인하여 선체가 침하하여 흘수가 증대된다. 선체주위의 수압분포가 변하면 그 수면에 대하여 선체가 균형 있는 자세를 취하기 때문에, 선체침하(Bodily sinkage)는 정지시보다 더욱 침하하고 또 선체 전후의 침하량이 달라 항주 중에는 트림도 변화한다.



<그림 3-1> 베르누이 방정식과 선체 침하 현상

(1) 천수 항주 중의 선체침하 현상

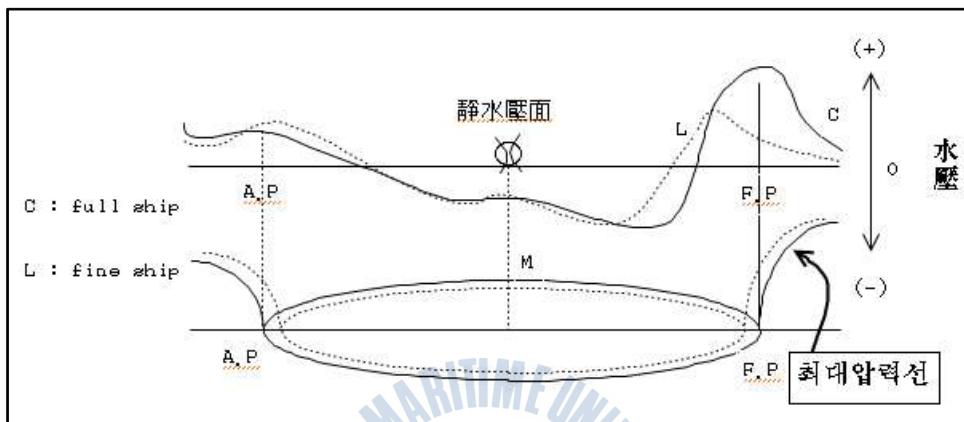
선박이 천수 중을 항주하면 선체가 침하한다. 이를 스퀴트(Squat) 스퀴트 현상(Squat effect)이라 한다. 수심이 낮을수록 선체주위의 수위가 낮아지는 범위가 넓어지기 때문에 이 현상이 크게 나타난다. 또 수심이 낮을수록 선수 트림에서 선미 트림으로 바뀌는 것이 저속 영역으로 이동한다. 실제 천수역에서는 항내 속력(Maneuvering speed)으로 항주하기 때문에 선체의 침하와 함께 선수 트림이 된다고 볼 수 있다.

VLCC에서 특히 여유수심을 결정할 때 즉, 수심과 흘수의 비( $h/d$ )가 1.1~1.2 정도의 낮은 수심에서는 스퀴트 현상이 문제가 된다. 천수에서 수조실험결과를 보면 초기에 선미트림으로 하고 항주할 때 등흘수가 되는 것은  $h/d$ 가 1.3 정도까지의 수심이다.  $h/d$ 가 1.2보다 작은 수심에서는 선체길이( $L$ )의 0.3%로 초기에 선미트림을 주면 등흘수로 되지 않고 오히려 선미트림이 증가하여 선미가 해저에 접촉할 우려가 있다.

(2) 천수에서 트림의 변화

선박이 항주하게 되면 조파의 영향과 선측의 압력분포 및 선저를 따라 흐르는 수류의 압력변화로 인하여 심수 영역과는 다른 트림의 변화가 생긴다.

통상 선박이 항주할 때에는 <그림 3-2>와 같이 선수미는 압력과 수위가 높고 중앙부는 수위와 압력이 낮으며 유속이 빨라진다. 방형계수가 큰 선박일수록 선속이 빠를수록 현저하게 나타난다. 수심이 얕은 수역을 항행할 경우에는 선측의 유속이 더욱 빨라지게 됨으로 인하여 선측의 수위는 더욱 낮아지므로 흘수의 변화가 심해진다.



<그림 3-2> 천수에서의 수압의 변화

### 3) 천수에서의 타력

타력은 천수 중에서 다음과 같은 영향을 받는다.

① 먼저 선저를 통과한 수류가 선미부에서 부상하여 난류를 형성함과 동시에 선미의 강한 반류(伴流)로 인하여 마치 수류가 정지한 것처럼 되는 영역이 만들어진다. 이 영역에서 완만한 수류 때문에 타력이 저하하여 타효가 떨어진다.

③ 그런데 프로펠러의 회전수가 일정할 때 천수에서 앞에서 설명한 이유로 선속은 감소하므로 프로펠러의 강한 배수류를 받아 타력은 증대한다. 마찬가지로 프로펠러의 슬립이 커서 타력이 증대된다.

③ 또 타판의 하단이 해저에 가까워지면 타판을 지나는 수류가 잘 정리되어 타력이 좋아진다.

타력은 위와 같은 요인이 복합적으로 작용하여 천수의 영향을 받지만 그 영향은 크지 않다. 그러나 천수에서는 타력이 약간 증가하여도 선회저항의 증가

가 크기 때문에 타효는 심수보다 떨어진다.

#### 4) 천수에서의 조종성

선박이 천수 구역을 항행하면 일반적으로 선회성은 나빠져서 선회권이 증가하지만 추종성 즉, 침로 안정성은 좋아진다.

수심이 작을수록 선회관성모멘트, 선회저항모멘트, 타력 등이 모두 증가한다. 그런데 선회저항모멘트의 증가율이 선회관성모멘트와 타력의 증가율보다 크기 때문에 이들을 조합한 조종성지수 T(추종성)와 K(선회성)가 모두 작아진다. 추종성지수인 T가 작을수록 침로안정성 즉, 추종성이 좋고 선회성지수인 K는 작을수록 선회력이 약하여 선회권이 증가한다. 즉, 선회성이 나빠진다.

실험에 의하면 선회경은 전방방향보다 측방 방향으로 더 증가한다. 이것은 선박이 선회를 시작함에 따라 타압모멘트는 상대적으로 감소하는 데 비하여 선회저항모멘트가 증가하기 때문으로 볼 수 있다.

천수에서의 선회성은 초기 선회모멘트의 감소와 선회저항모멘트의 증가로 크게 떨어진다. 일반적으로 수심이 흘수의 2.5배 이하가 되면 그 영향이 급증하고 선회경은 심수역의 2배 전후가 된다.

선저 하의 유체역학적 변화, 즉 유속의 증가에 따른 흡인력과 부가질량 및 부가관성모멘트의 증가는 선회에 대한 저항의 증가를 초래하는데 이는 침로의 안정성을 향상시킨다.

#### 5) 선체에 진동 발생

선미의 반류 및 와류가 증대하므로 프로펠러의 각 날개에 추력차이 발생하여 프로펠러 토크에 불규칙한 변동이 주어진다. 이 때문에 이상한 선체 진동이 발생한다.

### 3.1.2 선저 여유수심

최근 들어서 선박의 대형화가 급속히 진행되면서 항로를 포함한 기존의 각종 항만시설물들이 상용하여 따라오지 못하면서 대형선박들은 때때로 천수구역을

항해하지 않으면 안되는 상황에 직면하고 있다. 특히 VLCC와 같은 심흘수선은 외해에서도 선저여유수심에 관한 항행상의 문제에 직면하게 된다. 이러한 천수 구역에서는 선박의 조종성능이 저하되어 조선에 곤란을 겪게 된다. 이러한 선박의 조종성 저하를 방지하기 위해서는 해저와 선저와의 간격 즉, 선저여유수심을 비교적 크게 가져야 하지만 실제적으로는 그렇지 못한 수역이 많이 존재한다. 따라서 대형선들이 항주중 선저가 해저에 접촉하지 않기 위한 여유수심을 결정할 때에는 다음과 같은 요소들을 고려하여야 한다.

- (1) 선저의 여유수심이란 선박이 정지하였을 때, 선저에서 해저까지의 깊이의 여유공간을 말하며, 이는 다음과 같이 표현할 수 있다. 즉, “선저여유수심 = 해도상의 최소수심+당시의 조고-본선정지중의 흘수”로 표시된다.
- (2) 선저여유수심이 부족하게 되면, 천수영향 등으로 인하여 여러 가지 조선상의 어려움 및 선저접촉의 우려가 발생한다. 따라서 각 항만당국은 안전속력의 설정과 함께 안전한 선저여유수심을 설정하여 대형선들의 출입항 또는 항과시 이를 확보토록 규제하고 있다.

특히 유의할 사항은, 어떤 해역에서는 관련기관에서 측심에 상당한 노력을 기울이고 있다. 그러나 긴 항로의 경우에는 수로탐사자원의 부족으로 측심 간격이 강한 조류에 의한 수심의 빠른 변화를 따르지 못하는 일이 발생하여 실제 수심이 해도상의 수심과 차이가 많이 나는 곳도 있다.

#### 1) 선저여유 수심이 부족할 때 생기는 현상

항만의 입출항과 같은 대형선들의 운항에 있어서 UKC의 부족으로 인하여 발생하는 각종 현상들은 다음과 같이 정리할 수 있다.

- (1) 선체저항의 증가로 인하여 속력이 저하되고, 타효가 떨어져서 선박조선에 상당한 시간이 걸리므로 풍조의 영향을 받으면 조선이 곤란해진다.
- (2) 선체 전체가 침하하여 선저가 접촉되거나 기관 및 추진기에 장애가 생길 우려가 있다.



- (3) 선체 동요나 닻 사용시 선저와 접촉, 손상의 우려가 있다.
- (4) 조종측면을 보면 천수에서는 심수에서와 비교하면 선회성은 나빠지지만 추종성, 침로안정성은 좋아진다.
- (5) 해저경사가 있으면 전진 중에는 선수가 수심이 깊은 쪽으로, 후진 중에는 선미가 수심이 깊은 쪽으로 편향하는 현상이 일어난다.
- (6) 좁은 수로에서는 전진 중 선수는 가까운 측벽으로부터 반발되고, 선체 중앙 및 선미 부분은 측벽으로 흡인작용을 받는다.
- (7) 선체의 횡이동시 상대적으로 큰 선체저항의 증가로 선박제어가 곤란해지므로 대출력 예선의 도움이 필요하다.
- (8) 우선회 단추진기선에서는 일반적으로 나타나는 추진기관의 사용에 따른 선수우편향이 나타나지 않거나, 반대현상이 나타나는 수도 있다.
- (9) 특별히 여유수심이 부족한 좁은 수로에서는 상기의 각종 영향을 복합적으로 받아서 혼합작용이 일어날 수 있다.
- (10) 선박이 대형선이고 선속이 클수록 여유수심이 부족할수록 상기의 영향이 심하게 나타난다.

## 2) 천수수역 항행시의 여유수심

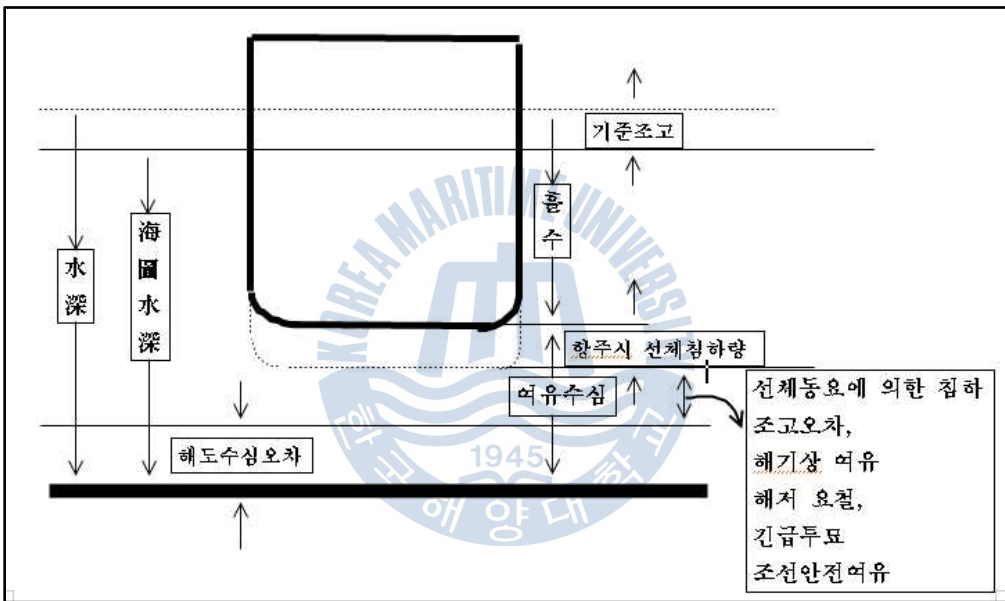
선박이 제한수역을 항행하는 경우와 정박지 등에서 계류/정박(계박) 조선을 하는 경우, 수심이 낮으면 유체역학적 영향을 강하게 받아서 조선이 곤란해질 뿐만 아니라 수심이 극도로 낮게 되면 선저접촉 위험은 물론이고, 다음과 같은 제 현상이 발생하여 위험에 빠지는 수가 있다.

- ① 선체 침하로 흘수가 증대하게 된다.
- ② 속력이 감소된다.
- ③ 타효가 둔해지며 선회조종성이 나빠진다.
- ④ 부가질량의 증대로 인하여 계박 조전시 횡이동이 어렵다.
- ⑤ 트림 변화가 생긴다.

⑥ 선체에 진동이 발생한다.

따라서 선박의 항행안전을 위해서는 선박의 상태, 조선지원 상태 등을 고려하여 선저하 수심의 여유를 갖고 항행하여야 한다. 이러한 여유 수심량을 통칭하여 여유수심이라고 한다. 즉, 여유수심이란 아래와 같은 요소를 고려하여 계산한다.

(해도수심 + 기준조고) - 정지시의 선박 흘수 = 해도의 수심오차 + 해기상에 따른 기압변화와 이상조위 + 선체침하량 + 파에 의한 선체의 상하운동 + 조선안전 여유(조종성 확보를 위한 여유) + 해저 뒬뒬의 여유



<그림 3-3> 여유수심 산정의 각종 요소

3) 조종성 확보를 위하여 조선안전에 필요한 여유수심

천수에 들어가면, 인위적인 감속에 의한 타효의 저하 이외에도 유체역학적 변화에 의한 타효의 불량과 선회조종성의 둔감 등 조종성이 저하한다. 이러한 영향에 대하여 보침, 변침 및 이동을 안전하고 능률적으로 실행할 수 있는 수심의 여유가 필요하다. 이 때 수심의 여유는 조선지원 상태를 고려하여 결정하여야 한다.

#### 4) 여유수심의 정도

이상에서 기술한 바와 같이 천수역에서의 여유수심은 선저의 접촉을 피하고 조종성 확보를 할 수 있는 2가지 면을 모두 충족시켜야 한다. 그러나 천수역 등에서 배의 거동이나 조종성은 선박의 상태나 환경 조건 및 조선지원 상황에 따라서 지배되는 것이므로 이들 상황을 고려하여 적절한 허용량을 설정하여 여유수심을 결정하여야 한다.

**<표 3-1> 선박흘수에 따른 여유수심**

선박흘수	~ 5 m	~ 7 m	~ 9 m	~ 12 m	~ 12m 이상
여유수심	0.5m 이상	1.0m 이상	1.5m 이상	2.0m 이상	2.5m 이상
%	10	14	17	17	-

말라카해협, 싱가포르해협 통항시 VLCC(DWT 15만 이상 탱커), 심흘수선(흘수 15m 이상)은 최소 3.5m 이상 여유수심 확보 요구

① 유럽 도선사협회의 발표(EMPA-구주 도선사 협회)

- 가) 항내에서는 흘수의 약 10% 여유수심
- 나) 항외 수로에서는 흘수의 약 15% 여유수심
- 다) 외해수로에서는 흘수의 약 20% 여유수심

② 테일러(Taylor)의 모형선 실험 결과

선속의 증가에 따라서 여유수심은 커져야 하며, 해저와 접촉을 피하기 위한 여유수심은 다음과 같다.

$$F_n = 0.3 \text{ 에서 } 0.1d \text{ (흘수의 10\% 여유수심)}$$

$$F_n = 0.4 \text{ 에서 } 0.2d$$

$$F_n = 0.5 \text{ 에서 } 0.3d$$

일반상선의 속력 범위가  $F_n < 0.3$  인 것을 감안하면, 흘수의 10% 여유수심이 있어야 선저접촉을 피할 수 있는 것으로 나타났다.

선박 크기와 배수량, 선형, 선속 등에 따라 달라지나 항내에서 UKC 1.5m 이상이면 주의 깊게 조선을 하면 일단 지장은 없다고 볼 수 있다. 그러나 UKC가 1m에 가까워지면 예선 등을 사전에 준비하여야 한다.

### 3.1.3 천수영향에 대한 대책

선저여유수심이 적어지면 선저부와 해저 사이의 유속이 증가되어 수중의 압력이 감소됨으로써 흘수가 증가하고 마찰저항이 커지게 되며, 속력과 타효가 떨어진다. 이러한 천수영향으로 인한 조선의 곤란은 선저의 평평한 면적이 증가함에 따라 급격히 증대된다. 어느 정도의 여유가 있으면 되는가 하는 문제는 속력, 선형 및 그 크기, 배수량의 크기 등에 따라서 달라지나 중형(Handy size) 화물선의 경우 1.5m 이상 있으면 주의 깊게 항내조선을 하면 지장이 없다고 볼 수 있으나, 1m에 가까워지면 곤란을 예상하고 조선하여야 한다.

따라서 이러한 천수영향에 대한 대책은 다음과 같다.

#### 1) 저속 항행

천수의 영향으로 선체와 해저사이에 상호 흡인력이 작용할 경우, 조선에 있어서 가장 중요한 조치는 감속이다. 타효를 유지할 수 있을 정도의 선속으로 감속하여야 한다. 보통 블록키지 팩터(Blockage factor)가 60%에 달하면 선속을 2~3노트로 감속 운항하는 것이 안전하다고 한다. 이는 천수영향을 최소화하고 선체침하량을 줄일 수 있다.

#### 2) 천수역 통항에 필요한 여유수심 확보

천수역에서의 여유수심 항목을 참조하도록 하고, 여유수심을 충분히 확보하기 위하여 불확실하면 고조시를 택하여 항해하도록 한다. 특별히 천수역 또는 수심 불명 지역을 통과할 때에는 가능한 고조시에 항행하도록 한다.

3) 배수량 3만톤 이상, 여유수심이 1.5m 이하인 경우 충분한 예선 준비

항내에서의 접이안 조선에서는 배수량과 여유수심에 따라서 충분한 예선을 사용하도록 하여야 한다. 이는 천수영향으로 인한 부가질량 등의 영향으로 횡저항이 급증하기 때문이다.

4) 너울, 횡경사 및 선체동요로 인한 흘수증가 고려

여유수심 산정에 있어서 너울, 횡경사 및 선체의 동요로 인한 흘수의 증가 등을 고려하여 예상 너울이나 파고의 2/3를 가산하도록 한다.

5) 변침 시에는 대각도 변침대신에 수회의 소각도로 나누어서 수행

UKC가 충분하지 못할 때 선체와 해저사이에 생기는 상호 흡인력과 부가질량의 증가는 타효와 선체의 선회성을 떨어뜨린다. 특히 한 번에 대각도를 선회함으로써 생기는 선체의 경사나 선회타력은 조선에 무리와 위험을 가져오게 되므로 선회는 소각도로 수회 나누어서 행하는 것이 바람직하다.

6) 저속 항행 중에 보침 또는 선회성의 개선을 위하여 잠시 기관을 킥 어헤드(Kick ahead)로 하는 것도 방법의 한가지이나 개더웨이(Gather way)(과도한 속력 및 출력)되지 않도록 주의가 필요하다. 증속 타력과 부가질량이 커서 속도의 증가는 타효 보다 훨씬 늦게 나타남을 이용하도록 한다.

### 3.1.4 흘수제약선의 특수한 조건

특수한 조건의 의미는 충돌방지법 제18조(선박 상호간의 책임)의 (d)조 2항, "흘수의 제약을 받는 선박은 자선의 특수한 조건에 충분히 유의하여야 하고 특별히 조심하여 운항하여야 한다"라고 하였다. 이 때 충분히 고려하여야 할 "특수한 조건" 또는 특수한 상태라는 것은 구체적으로 어떠한 것인가에 대해서는 다음과 같이 정의할 수 있다.

- (1) 좌우 선회가 어렵고 큰 변침을 하면 타력의 억제 곤란으로 장애물에 좌초될 위험이 있는 것.

- (2) 천수영향으로 조선 성능의 저하를 가져오는 것
- (3) 천수역에 진입하면 선체 침하가 증가하고 트림이 변하는 것
- (4) 선체의 침하 방지를 위해 감속을 하면 타효가 줄거나 없어지는 것
- (5) 정지거리가 극히 크며, 기관의 후진을 걸어도 그 효과가 즉시 나타나지 않을뿐더러 제한수로에서는 선미의 편향으로 인하여 좌초 위험이 있는 것
- (6) 선체의 크기에 비하여 속력이 느리기 때문에 외력의 영향을 받기 쉬운 것 (인위적인 감속 포함)
- (7) 여유수심이 적은 곳을 통과하기 위해서는 고조시를 이용해야만 하는데 이로 인한 시간적 제약을 받는 것.

### 3.1.5 항내에서의 여유수심

일본 도선사 협회의 여유수심에 대한 설문조사 결과 평균치가 항내에서 선박 흘수의 10% 선에 접근하고 있다. 이것은 유럽 도선사 협회의 항내에서의 여유수심과도 일치할 뿐 아니라 테일러의 모형선 실험에서  $F_n < 0.3$ 의 선박이 선저 접촉을 피하기 위한 여유수심과도 일치한다. 참고로 일반상선의 항내 속력의 범위는  $F_n < 0.3$ 이다.

실무 관행상, 선박의 크기와 배수량, 선형 등에 따라 달라지기는 하나 항내에서 UKC가 1.5m 이상이면 주의 깊은 조선에서 지장은 없다고 보고 있다. 그러나 UKC가 1m에 가까워지면 예선 등 사전 준비를 하여야 한다.

### 3.2 제한수로의 영향

선박의 흘수 및 선폭에 비교하여, 상대적으로 수심이 얇은 수역과 수로 폭이 좁은 수로를 일반적으로 제한수로(制限水路, 'Restricted water' 혹은 'Confined water')라 부른다. 이는 선박의 크기에 따라 상대적으로 결정되는 것이다.

이러한 제한수로에서는 선박의 운동성능이 저하되어 조선이 곤란하게 되는데 이는 제한수로에서 오는 유체역학적인 원인에 기인하는 것이며, 이러한 현상을

제한수로의 영향(Restricted water effect or Confined water effect)이라고 한다. 이러한 선체의 운동성능의 저하는 선체주위의 수중 압력분포의 모양이 제한수로에 들어오면 현저히 변화하기 때문이다. 수중 압력분포의 차이는 선박의 크기, 선형, 선속, 흐름을 방해하는 장애물과의 거리에 따라 변하며, 선체주위의 여건에 따라 다음과 같은 여러 현상으로 나타난다.

(1) 깊고 넓은 수역에 있어서 선체주위의 물흐름의 분포가 3차원인데 비하여 수심이 얕아지면 이것이 2차원적인 것이 되며, 이것이 천수영향(Shallow water effect)의 원인을 만든다.

(2) 또한 한쪽에 안벽이 있는 부근해역을 항주하는 선체주위의 흐름은 비대칭적인 분포를 이루고 이것이 안벽영향(岸壁影響, Wall effects/Bank effects)의 원인을 조성하는 것이다.

(3) 상기한 안벽대신에 해저의 경사된 저면을 놓으면 해저경사의 영향을 조성하며, 다른 선박의 현측을 놓으면 근접되어 항주하는 선박간의 상호작용(Interaction)을 설명할 수 있다.

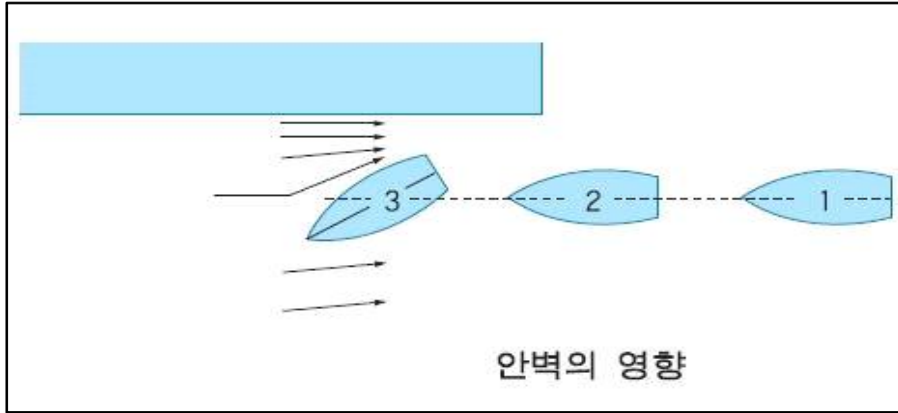
요컨대, 제한수로의 영향이나 2선박간의 상호작용은 모두 선체와 해저, 운하 벽 및 다른 선체사이의 유체역학적인 간섭작용에 의하여 설명된다. 이러한 천수영향은 선저에서만 작용하지만 제한수로의 영향은 해저로부터 뿐만 아니라 선체의 측면으로부터도 받는다. 대략 다음과 같이 구분하여 생각할 수 있다.

- ① 안벽의 영향
- ② 운하 등에 있어서의 측벽의 영향
- ③ 해저경사의 영향

이상을 더욱 상술하면 다음과 같다.

### 3.2.1 안벽의 영향

<그림 3-4>에서 선박이 '2'의 위치에 오면 선속이 강할 시는 선수는 안벽 반대쪽으로 반발하고 선미가 안벽으로 붙으려는 경향이 나타나면서 '3'과 같은 자세를 취하게 된다. 이것을 안벽영향(bank effect)이라고 한다.



<그림 3-4> 안벽의 영향

### 3.2.2 측벽 영향

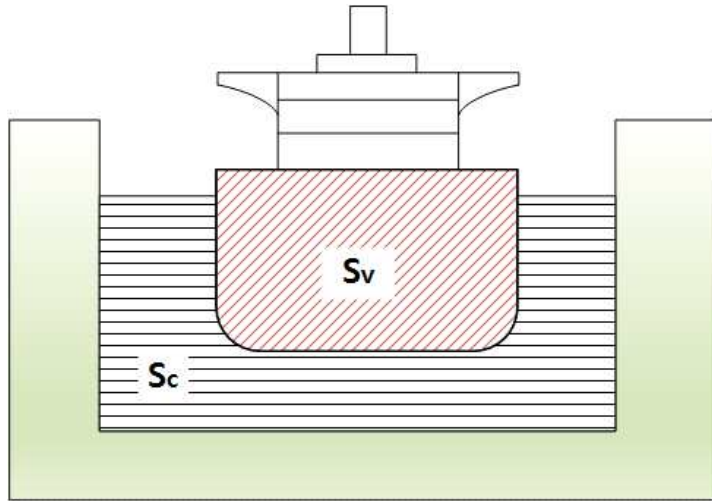
수로의 폭이 제약될 때에는 선체주위의 유선변화가 격심하고 불안정 모멘트 (moment)가 커져서 선박의 침로안정성이 매우 저하된다.

선수쪽은 수위가 높아지고 선미를 향하여 수위가 낮아짐과 동시에 현측의 유속이 강하므로 선수가 조금만 틀어지면 선수는 가까운 육안으로부터 반발작용을 받고 선미는 흡인작용을 받는다. 그 결과 선체는 육안의 반대 쪽으로 선회력을 받는다. 이와 같이 선체가 근접된 측벽으로부터 받는 반발 및 흡인작용을 총칭하여 측벽 영향(Wall effect)이라고 하고 선체는 운하를 가로지르는 상태로 들어지기 쉽다.

그러면 수로의 단면적과 선체침하부의 단면적비가 어느 정도면 안심할 수 있는가 하면 <그림 3-5>와 같이 그 비가 8이상 되면 안전하다고 볼 수 있다. 즉,  $S_c/S_v \geq 8$  이면 좋다.

실제 운용상은 이 값이 3~4면 된다.





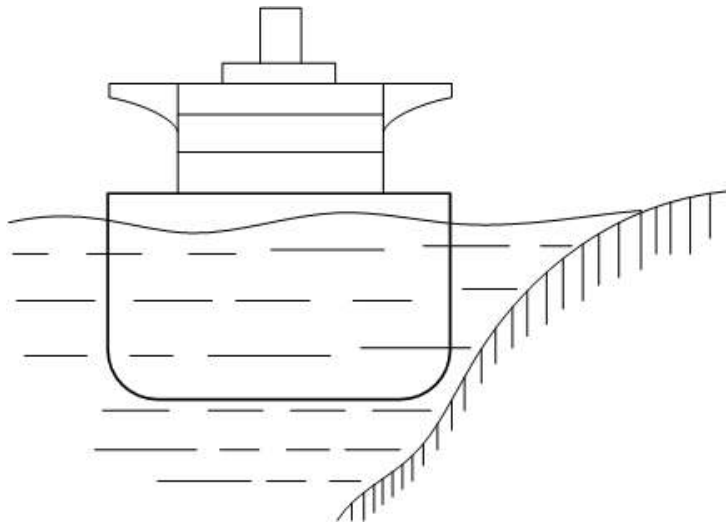
<그림 3-5> 운하통과와 안전성

### 3.2.3 해저경사의 영향

해저경사라고 할 때에는 보통 <그림 3-6>과 같은 경우를 말한다. 이 영향 역시 선체의 속력, 배수량, 흘수, 수심 등에 의하여 결정되지만 선체의 진행에 수반하는 수량의 이동(선체가 진행하면서 배제하는 수류, 수반류, 추진기의 배수류 등)이 미치는 곳에 안벽, 타선, 해안, 해저가 있는 이상 반드시 그 영향이 되돌아오는 것이다. 여기서 말하는 해저의 경사상태는 눈에는 보이지 않지만 선저와 가까워지면 그 영향이 다음과 같이 나타나게 된다.

- ① 전진중은 선수가 깊은 쪽으로 편향한다.
- ② 후진중은 선미가 깊은 쪽으로 편향한다.

이 사실은 1934년 영국해국전함 넬슨(Nelson)호가 “포스 마스”항 외에서 좌초한 사실이 있었고 그 원인을 규명한 결과 해저경사의 영향으로 밝혀졌다. 이것 역시 간단히 말해서 선수가 배제하여 나가는 물이 흐르기 쉬운 넓고 깊은 곳으로 흘러가기 때문에 선수는 편향된다.



<그림 3-6> 해저경사의 영향



## 제 4 장 우회전 단축추진기와 관련한 선박의 선회 현상

키를 중앙으로 하더라도 우회전 단축추진기(프로펠러)의 회전에 따라 발생하는 일반적인 선박의 선회 현상을 살펴보기로 한다. 이것은 추진기의 날개에 작용하는 힘, 추진기류가 선체 혹은 키에 작용하는 힘 등에서 좌우 비대칭의 횡방향 힘이 발생하므로 선미는 우세한 힘의 방향으로 선회하게 된다. 여기서 키는 중앙으로 한다고 가정한다.

### 4.1 추진기류에 의한 선박의 선회 현상

추진기가 수중에서 회전을 할 때 추진기 전방에서 흡입되는 것을 흡수류(suction current)라고 하고, 후방에 나선형으로 방출되는 것을 배수류(discharging current)라고 한다. 먼저 흡수류에 대하여 살펴보자.

#### 4.1.1 흡수류에 의한 선회 현상

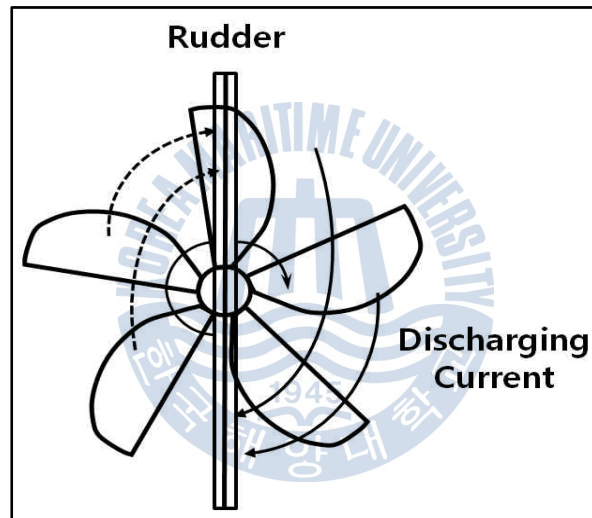
선박이 전진할 때에는 수면하의 선미선(buttock line)을 따라 흡수류는 선저에서 위로 올라가 추진기의 날개에 흘러들어간다. 이 때문에 추진기가 우반원을 돌 때는 좌반원을 돌 때보다 추력이 커지게 된다. 이에 따라 전체의 추력축선이 선체의 중심선에서 오른쪽으로 벗어나게 된다. 이 때문에 선수가 약간 왼쪽으로 돌게 된다. 즉, 선미는 오른쪽으로 편향된다.

후진할 때에는 흡수류가 추진기의 좌반원과 우반원에 동일하게 흡수되므로 흡수류에 의한 선회 현상은 나타나지 않는다.

## 4.1.2 배수류에 의한 선회 현상

### 1) 전진할 때의 배수류 영향

선박이 전진할 때에는 추진기가 우회전하면서 방출되는 배수류는 추진기축에서 키의 상부까지는 왼쪽에서 오른쪽으로 편향시키고 또 키의 하부까지는 오른쪽에서 왼쪽으로 편향시킨다. 이때 키에 흘러가는 입사각(attack angle)은 아래쪽이 크기 때문에 아래에 작용하는 타압이 우세하여 선미가 왼쪽으로 선회하게 된다. 특히 키의 상부가 수면에서 노출이 되어 있을 때에는 상부의 타면적이 작기 때문에 선미의 좌선회 현상이 더욱 강해진다.

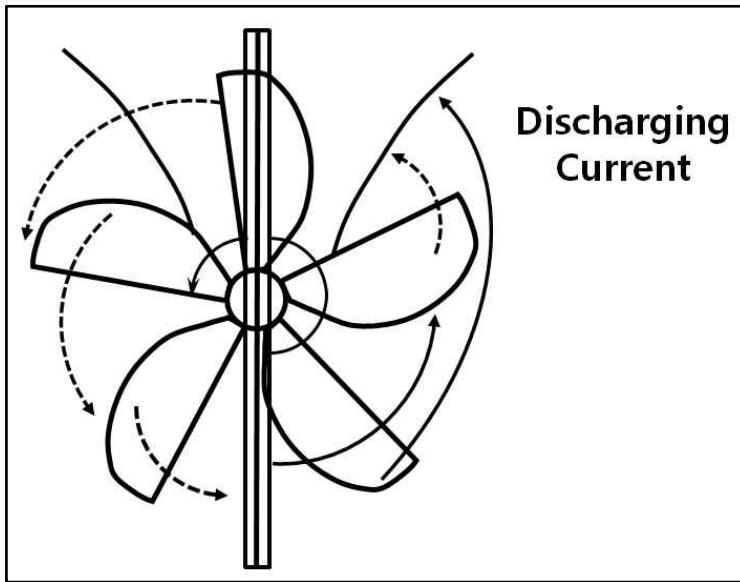


<그림 4-1> 전진시 배수류 영향

### 2) 후진시의 배수류의 영향

#### (1) 기존의 이론

선박이 후진을 할 때에는 선미에서 선수쪽으로 배수류가 방출된다. 이 배수류는 선미의 우현 외판에 거의 직각으로 광범위하게 때리게 되므로 선미를 왼쪽으로 강하게 밀어 선수는 오른쪽으로 돌아가게 된다. 이를 배수류의 측압작용이라고 한다.

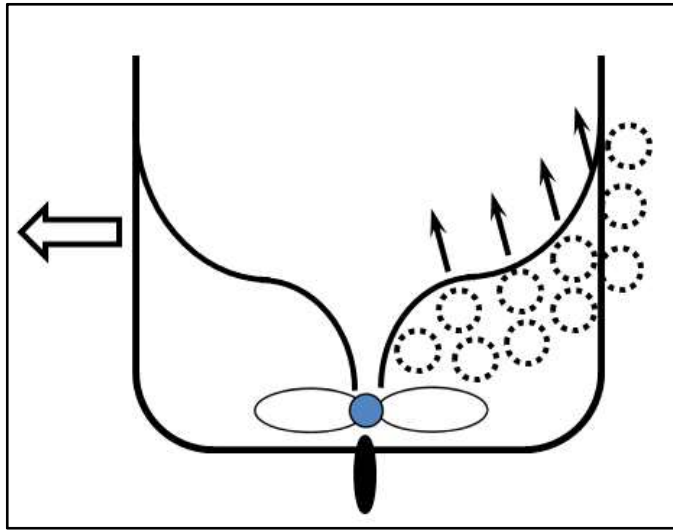


<그림 4-2> 후진시 배수류의 영향

(2) 가속수류에 의한 해석

배수류가 우현 선미를 밀어서 나타나는 작용이므로 후진기관을 사용할 때만 발생한다. 후진기관을 사용하여 발생한 4~5노트인 배수류의 가속수류의 속도보다 선속이 빠를 때는 가속수류가 선속을 따라 잡지 못하므로 측압작용의 영향은 없다. 선속이 4~5노트 이내로 줄어들면서(단추진기 우회전 스크류의 경우) 배수류가 선미의 우측 수선면 하부를 밀어서 선미는 좌편향되고, 그 반작용으로 선수가 우선회하며 선박이 멈추어 서게 된다.

외력의 영향은 선체의 운동량에 반비례하므로 선박이 이동을 멈추어 운동량이 제로가 되었을 때 측압작용의 영향은 최대가 되고, 이후 후진속력이 붙으면 선체 운동량이 증가하여 상대적으로 측압작용의 영향력은 적어진다. 후진속력이 2~3노트 이상 증가하면 수저항 중심이 선체의 후방으로 이동하고, 배수류가 미는 선체의 위치가 더욱 선체 앞쪽으로 이동하며 예각으로 변하여 측압작용의 영향은 더욱 적어진다. 후진선속이 4~5노트를 초과하면 측압작용의 영향은 크게 적어져 선체는 거의 직후진하게 된다.



<그림 4-3> 후진기관 가속수류에 의한 측압작용

예컨대, 7노트 이상 전진 중이던 선박에 후진기관을 걸고 배수류의 측압작용이 일어나는 과정을 살펴보면 다음과 같다.

처음에는 프로펠러에 의해 발생된 역전 가속수류가 선속을 따라 잡지 못하고 뒤쳐져 측압작용은 발생하지 아니하며, 이때 횡압력은 선체의 운동량(선체의 질량과 선속의 곱)이 크기 때문에 상대적으로 적은 횡압력은 외관상 나타나지 않다가 선속이 5노트 정도 떨어질 때부터 미세하게 느낄 수는 있으나, 선속이 4~5노트 전후에서 나타나는 배수류의 측압작용이 너무 크기 때문에 구분할 수는 없다. 선속을 따라 잡지 못하고 선미 후방에서 처지던 가속수류는 선속이 4노트 정도로 떨어지면 타와 프로펠러 부근까지 따라와서 측압작용이 발생하기 시작하고 선체의 선회가 시작된다. 대형선의 경우 가속수류가 선미로부터 선수 쪽으로  $L/4$  정도 달하면 선속이 0이 되므로 선체 운동량도 0이 된다. 선체의 수저항 중심에서 가속수류 작용점까지의 거리가 선체가 후진을 하여 전심이 선미쪽으로 이동한 경우보다 긴 때이므로 측압작용력은 최대가 된다.

선체의 속력 0 전후에서 선미 한곳에 머물러 측압작용을 왕성하게 일으키던 가속수류는, 선체가 후진을 하기 시작하며 점차 선수 쪽에까지 넓게 확산되어 측압작용은 선속을 따라 선수미에 넓게 분산될 뿐만 아니라, 선체의 후진에 따라 가속수류 또한 전후 방향으로 정렬되어 측압작용은 더욱 약해진다. 후진속

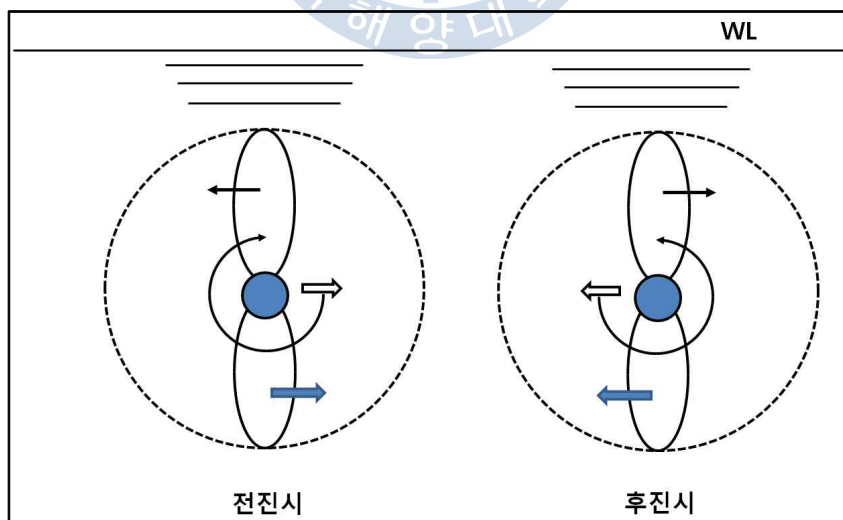
력이 커질수록 수저항 중심이 선미 쪽으로 이동되어 선미 쪽에 작용하는 측압 작용점과 전심간의 거리가 짧아져서 선회모멘트(힘 × 수저항 중심으로부터 작용점까지의 거리로 표시되는 선회모멘트)는 더욱 작아지게 된다.

후진속력이 가속수류와 비슷한 4~5노트 정도가 되면 선체는 선회를 멈추고 직후진하는 경향으로 바뀌며, 이때에는 측압작용의 영향보다는 오히려 바람에 의한 영향으로 선수가 풍하쪽으로 선회하거나 천수지역에서 낮은 곳으로 선체가 쏠리는 보텀 스멜링(Bottom smelling) 현상이 오히려 커지게 된다.

#### 4.2 추진기 날개에 걸리는 횡압력의 작용

회전하는 추진기 날개의 횡압력은 수면하의 위치에 따라 차이가 발생한다. 상부 날개보다 하부 날개 쪽이 우세하여 선회작용이 발생한다. 전진할 때에는 추진기가 우회전하므로 선미를 오른쪽으로 밀고, 후진할 때에는 추진기가 역회전하여 좌회전하므로 선미를 왼쪽으로 밀도록 작용한다.

이것은 추진기의 날개가 회전할 때 수면에 가까울수록 상부의 횡압력은 공기의 흡입으로 기포가 있어 하부의 횡압력보다 작게 되므로 선미는 하부에 우세한 횡압력의 방향으로 밀게 된다. 이 작용은 추진기를 수차로 볼 때 반력이 수차축에 전달되는 것과 같으므로 바퀴효과(wheeling effect)라고 한다.



<그림 4-4> 횡압력의 작용

### 4.3 선체생성측압류에 의한 선체의 선회운동

우선회 일축선 선박이 전진 중 기관을 역회전하면 선박은 배수류 측압작용과 프로펠러의 횡압력으로 인하여 선수가 우선회하며 정지한다. 대형 심흘수 선박이 0.1-0.2D 이하로 선저 여유 수심이 적은 곳에서 강한 후진기관을 사용하면 180도까지 선회하기도 한다. 선저로 흘러야 하는 배수류가 쉽게 빠져나가지 못하고 선측을 밀기 때문이다.

그러나 상당히 큰 각속도로 선회하던 선박이 큰 후진기관을 걸면 반드시 선수가 우선회하는 것이 아니라 기관을 걸기 전 선회하던 방향으로 더욱 급하게 선회하는데 이것은 선체발생측압류에 의한 것이다.

예를 들어, 선박이 닻정박지에 접근하며 후진기관을 걸 때 심하게 선수가 우선회할 것으로 걱정하여 후진기관을 걸기 전에 선수를 좌선회시키면서 후진기관을 걸면 뒤늦게 따라온 가속수류(배수류)가 선미에 도달할 때쯤에 선미는 상당히 오른쪽으로 돌아 있으므로 선체발생측압류는 선미 왼쪽을 오른쪽으로 밀게 되어 선수는 계속하여 좌선회하게 된다.

이후 선수의 좌선회가 심해질수록 선미는 더욱 오른쪽으로 급격히 돌면서 프로펠러에서 나온 배수류도 선미의 오른쪽을 미는 힘이 약하므로 선수의 좌선회가 계속된다. 이런 현상은 선박의 형상특성과 여유수심 및 역전기관의 회전수에 따라 달라지므로 특정한 각속도로 정의하기는 어려우나 중대형 선박에서 후진기관을 사용하기 전 원침로에서 7-8도 이상 선회 후에 후진기관을 걸면 선체발생측압류에 의한 선회현상이 발생하는 것을 경험할 수 있다.



## 제 5 장 만재한 광탄선에서 후진기관 사용시 발생하는 선수의 좌선회 현상

제 4 장에서 언급한 바와 같이 후진기관을 사용하게 되면, 배수류의 측압작용 및 횡압력 등의 영향으로 선미가 왼쪽 즉, 선수가 오른쪽으로 선회하는 것이 일반적인 현상이다. 그런데 포항항에서 나타난 바와 같이 거대 광탄선의 경우에는 후진기관 사용시 선수가 급속히 좌선회하는 현상이 가끔씩 발생한다. 여기서는 먼저 이 현상을 예시하고, 이에 대하여 고찰하고자 한다.

### 5.1 만재한 광탄선의 입항 접근조선 중 발생한 선수 좌선회 사례

먼저 포항항에 입항하는 만재한 광탄선에서 경험한 부두 접근조선 중 발생한 선수 좌선회 사례를 제시하기로 한다.

#### 5.1.1 포항항 원료부두 #10번석 접안의 예

##### 1) 입항 선박의 조건

입항 선박은 케이프 사이즈급(Cape size) 선박(148,000 DWT~245,000 DWT)이다<표 5-1>.

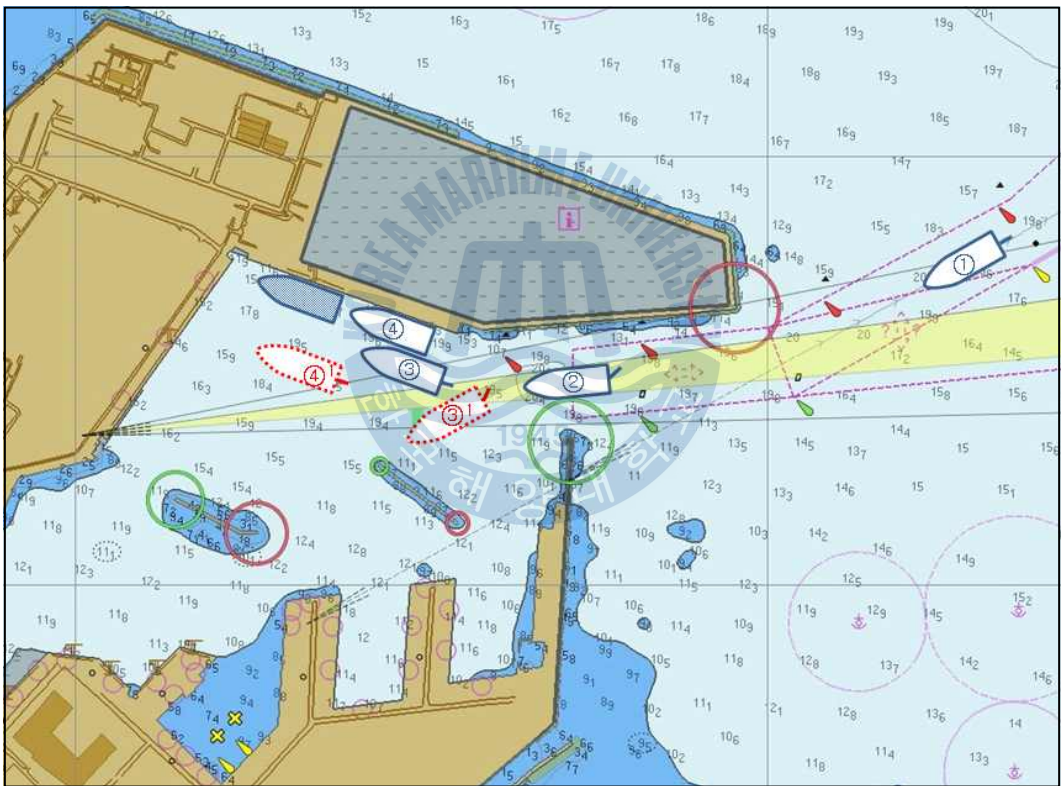
입항선 최대 흘수 17.40m, 수심 19.50m, UKC 2.1m.

당시 수십년간 항로준설을 하지 않아서 실제 UKC는 2.0m 이하임.

##### 2) 입항 방법

<그림 5-1> ①의 위치에서 풍조에 견디면서 타효유지 가능한 선속 5~6노트 정도로 진입한다.

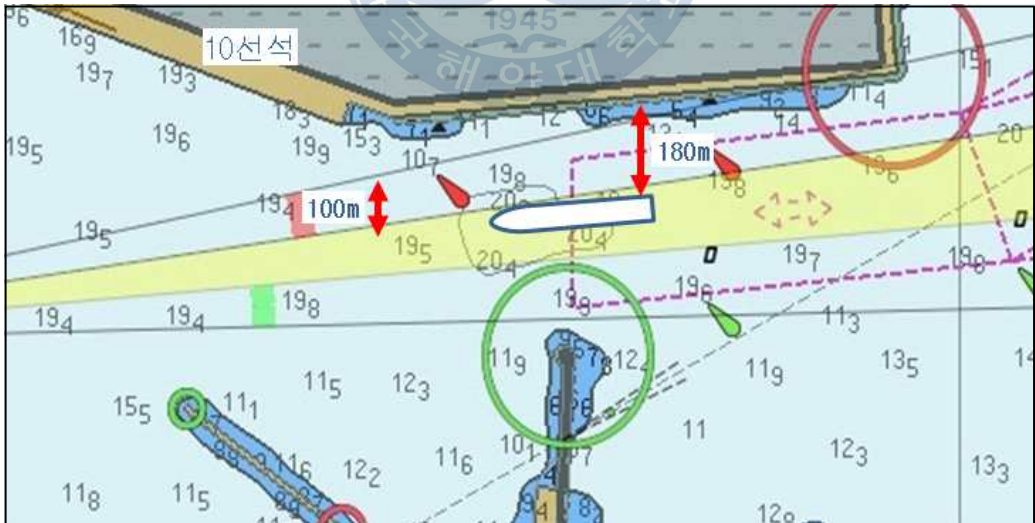
선수미 양측에 잡은 예선은 감속을 위해 6시 방향으로 당기면서 입항, ②의 위치에 오면 ③의 위치로 가기 위해 우현 전타하고 기관을 정지한다. #10번석까지는 거리가 짧아서 후진기관 사용은 필수적이며, 'Slow Astern' 또는 'Half Astern' 기관을 사용한다. 후진기관 사용 중에 이미 취하였던 우현타의 영향으로 선수가 우선회하다가 잠시 후 선회를 멈추고 급격한 좌선회를 한다. 이에 따라 ③'의 위치가 되면서 선수미에 잡은 예선만으로 선박을 제어하기 힘든 위험한 상황에 놓이게 된다. 이때 즉시 기관을 정지하고 'Slow Ahead' 또는 'Half Ahead' 기관을 사용함과 동시에 우현전타하면 잠시 후 선수 좌선회는 멈추고 ④'의 위치로 오게 된다.



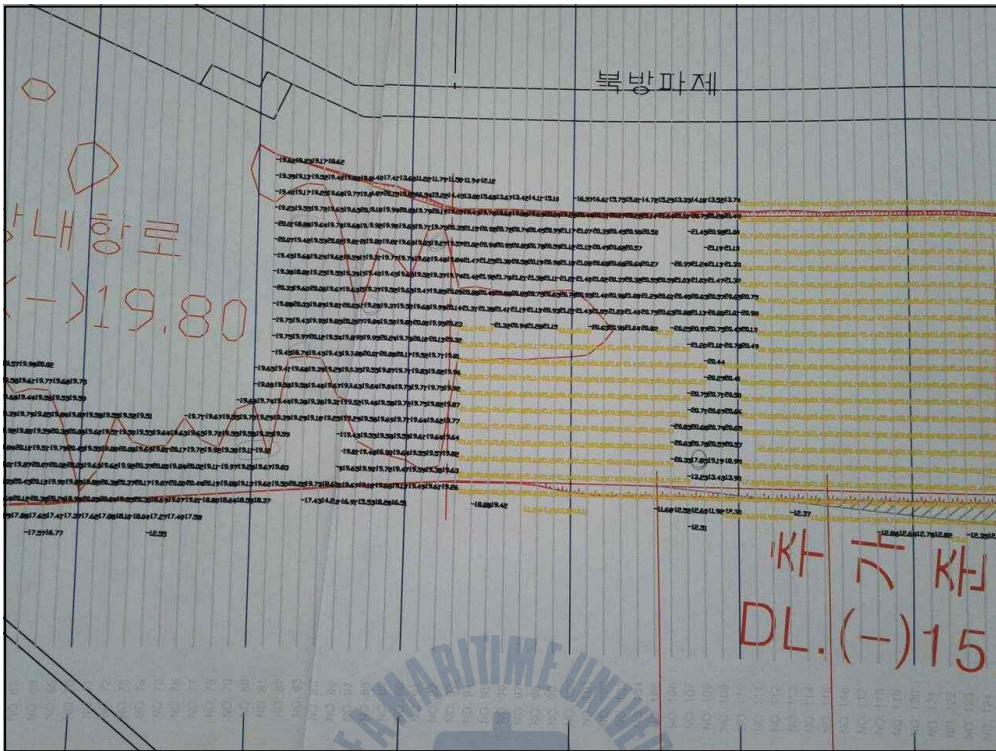
<그림 5-1> 포항항의 집안을 위한 선박 항적도



<그림 5-2> 포항항 실제 선박의 접안조선(선미 예선 2척, 선수 예선 2척)



<그림 5-3> 1번 부두 10번선석 접근 모식도



<그림 5-4> 1번 부두 접근항로의 수심도

### 3) 선수 좌선회 현상 발생 조건

이 현상은 항상 발생하는 것이 아니고 지금까지의 경험에 의하면 다음과 같은 조건하에서 빈번히 발생한다.

#### (1) 여유수심의 크기

- UKC가 작을수록 즉,  $h/d=1.1$  에 가까울수록 빈번히 발생한다.
- 2011년부터 시작된 항로 및 항내 준설공사 이후로는 거의 발생하지 않고 있으나, 준설공사 완료 후 입항흘수를 18.0m로 증대시키게 되면 또 다시 발생할 것으로 예상하고 있다.

#### (2) 광탄선 선박의 전진 속력

- <그림 5-1>의 방파제 부근 ②의 위치에서 입항 속력이 4노트 이상이 되

고, 후진기관 사용이 크고 길수록 자주 발생한다. 3노트 이하의 저속에서는 거의 발생하지 않는다.

(3) 광탄선 선박의 사용 기관

- 후진기관을 H/S 이상을 사용하는 경우 잘 발생한다.
- 저속의 후진기관을 사용할 때에는 나타나지 아니한다.

(4) 광탄선의 선미 형상

- 광탄선과 같이 선미의 방형비척계수( $C_B$ )가 큰 선박에서 발생한다.
- 선미형상이 날렵한 컨테이너 선박에서는 거의 발생하지 않을 것으로 예상된다.

참고로 <표 5-1>은 그동안 포항항만을 출입한 광탄선의 현황을 나타내고 있다.

<표 5-1> 포항항 입항 광탄선 현황

선사	원료선박		SUMMER LOADING LINE			DIMENSION(M)			TONNAGE	
	선박명	CODE	DWT	DRAFT	TPC	LOA	BEAM	G/T	N/T	건조일
한진해운	HJ.MELBOURNE	A01	188,125	18.02	125.98	291.50	48.00	93,643	59,556	870529삼성
	HJ.SYDNEY	A02	186,040	18.02	125.59	291.03	48.00	95,513	59,027	890509현대
	HJ.DAMPIER	A03	207,345	18.02	140.16	309.00	50.00	110,541	64,786	891125현대
	HJ.GLADSTONE	A04	207,390	18.02	137.80	309.00	50.00	110,541	64,786	900907현대
	HJ.HAYPOINT	A06	150,977	16.92	108.00	274.00	45.00	77,650	49,336	901114현대
	HJ.CAFETOWN	A07	151,525	16.90	110.00	274.00	45.00	76,954	48,886	930211대우
	P.BRAVERY	A81	207,096	18.02	140.50	308.68	50.00	110,593	64,786	920716현대
	P.CHALLENGER	A82	149,914	17.32	105.50	269.00	43.00	75,277	47,562	921023삼성
	P.HARVESTOR	A83	148,918	17.32	105.50	269.00	43.00	75,277	47,562	990121삼성
	P.DEDICATOR	A84	208,394	18.00	142.00	311.50	50.00	110,627	63,677	930108대우
	P.AMBITION	A85	149,000	17.32	105.50	269.00	43.00	75,277	47,562	920605삼성
	GOODWILL	A86	149,401	17.32	105.50	269.00	43.00	75,277	47,562	920814삼성
	EMPRESS	A87	151,662	16.92	109.60	274.00	45.00	76,925	48,886	920807대우
	FRONTIER	A88	151,492	16.92	109.60	274.00	45.00	76,925	48,886	921030대우
	ALEXANDER CA	A89	208,394	18.00	142.00	311.50	50.00	110,627	63,677	930119대우
	HJ.PORT HEDLAND		183,875	18.06	124.07	291.97	45.00	93,152	60,453	2010.07.042
	HJ.SINES		183,875	18.06	124.07	291.97	45.00	93,152	60,453	009.04.30
	INOVATOR	A90	149,330	17.32	105.00	269.00	43.00	75,277	47,562	930226삼성

S T X	O.PARK	A22	166,857	17.36	124.02	276.30	45.90	91,951	51,917	860626대우
	STX BONA		179,798	18.25	124.02	291.08	45.00	92,080	58,672	CHINA
	O.QUEEN	A23	187,864	18.03	127.17	282.80	48.00	94,666	60,281	871118대우
	O.UNIVERSE	A24	245,609	19.22	157.87	316.30	53.00	123,020	75,695	881222대우
	O.VANGUARD	A25	206,258	18.02	141.20	312.00	50.00	110,489	64,113	94 대우
	STX FREESIA		180,736	18.20	124.30	291.90	45.00	95,047	69,025	09 STX
대 한 해 운	SILVER BELL	A46	207,671	18.02	137.80	311.92	50.00	110,352	64,853	891228삼성
	GOLDEN BELL	A47	207,725	18.01	137.80	311.96	50.00	110,352	64,853	900410삼성
	MARI GOLD	A48	207,250	18.02	137.80	309.06	50.00	110,779	64,786	900627현대
	K.CAMELLIA	A49	207,874	18.01	137.80	311.97	50.00	110,352	64,786	900718삼성
	ANEMONE	A50	151,439	16.91	108.00	274.13	45.00	77,650	49,336	900720현대
	BEGONIA		180,265	18.17	121.40	288.93	45.00	90,091	59,287	050201일본
	CALADIUM		176,924	17.95	121.00	288.93	45.00	89,651	59,031	060112일본
	WHITE ROSE		171,827	17.92	120.00	289.00	45.00	89,097	56,105	060303대우
	K.ASTER		207,942	18.20	138.70	299.70	50.00	106,367	64,038	090403일본
	K.COSMOS		242,300	19.02	158.90	315.50	58.00	138,694	41,608	920331
	DELTA PRIDE		38,486	11.01	46.90	186.10	28.40	25,189	9,935	910524현대
	NEW HORIEON		38,486	11.01	46.90	186.10	28.40	25,189	9,935	920925현대
현 대 상 선	HD. ISLAND	A63	127,853	15.55	102.76	274.36	42.50	67,897	40,905	860331현대
	HD. OLYMPIA	A64	186,330	18.01	127.56	291.50	48.00	93,005	59,048	870228현대
	HD. CONTINENTEL	A65	200,269	17.56	139.76	309.00	50.00	101,466	63,093	880317현대
	HD. UNIVERSAL	A66	200,062	17.56	139.76	293.38	50.00	101,604	63,092	900314현대
	HD. PROSPERIT	A67	151,257	16.90	108.00	274.00	45.00	74,052	49,276	900927현대
	HD. COSMOS	-	163,250	17.02	119.30	290.06	45.00	85,678	51,874	8604 현대

## 5.2 광탄선의 후진기관 사용시 선수 좌선회 현상의 발생원인

앞 절에서 언급한 조건을 토대로 광탄선이 후진기관을 사용할 때 나타나는 선수 좌선회 현상의 원인으로서는 다음과 같은 요소를 고려할 수 있다.

- ① 제한수로의 영향
- ② 여유수심의 크기
- ③ 광탄선의 전진 속력의 크기
- ④ 사용한 후진기관의 크기
- ⑤ 선미 형상 등
- ⑥ 해저 지형의 영향

이외에 선체생성측압류의 원인도 고려할 수 있다.

위의 요소를 바탕으로 광탄선에서 후진기관 사용시에 발생하는 선수 좌선회 현상을 분석하여 보기로 한다.

### 5.2.1 제한수로의 영향

일반적으로 선박의 흘수 및 선폭에 비교하여 수심이 얇고, 수로 폭이 좁은 하천, 운하와 같은 수역을 일반적으로 제한수로라고 한다. 이러한 수역을 항주하면 넓고 깊은 대양상을 항주하는 경우와 달리 선박의 운동에 천수영향이 나타난다. 수역이 협소할수록 천수영향이 커지며 게다가 측벽과 선체사이에서 발생하는 흡인반발의 상호작용이 측벽의 영향으로 나타난다. 이 양자의 혼합영향을 제한수로의 영향(Bank effect/Shallow water effect)이라 한다.

저속으로 항행하는 대형선박이 측벽 부근을 항행하는 경우 측벽으로 인하여 대형선박에 미치는 유체력은 선속, 측벽의 형상, 수심과 선박흘수의 비( $h/d$ ), 선박과 측벽과의 횡방향 및 종방향 거리 등에 따라 달라진다. 이러한 유체력은 대형선박의 조종운동에 많은 영향을 주며 특히, 대형선박의 선회운동에 직접적인 영향을 주게 된다.

본 논문에서 다루고 있는 포항항에서의 10번 선석으로의 광탄선 접안조선의 경우, 부두로부터 약 180m 정도 거리를 두고 진입하게 된다<그림 5.3>. 외력이 없다는 전제하에 이와 같은 상황에서는 선속,  $h/d$ , 횡방향 거리 등에 따라 측벽영향(Bank effect)의 영향이 상당히 크게 작용한다. 안전을 위해서는 선박의 속력을 상당히 떨어뜨리면서 10번 선석으로 진입해야 할 것으로 보인다.

특히, 포항항의 경우 접안선박의 흘수에 비하여 수심이 대단히 얇기 때문에 대략  $h/d$ 가 1.2 이내이고 측벽으로부터 대략 200여미터 이내에서 4kt이상으로 진입하게 될 경우, 측벽 영향으로 인하여 접안조선을 위하여 진입하는 대형선박(광탄선)에 예기치 못한 선회운동으로 인하여 대단히 큰 위험을 초래할 수 있다.

상기 내용을 종합해 볼 때, 포항항에서의 10번 선석으로의 광탄선 접안조선 시, 발생하고 있는 후진시 갑작스런 좌선회 현상에 대해서는 진입하는 선박의 선속과 제한수로의 영향 때문인 것으로 보인다. 따라서 이 부근에서 안전조선을 위해서는 먼저 충분한 수심이 준설되어야 할 것으로 보이고 외력이 없다는 전제하에서 현 수심에서는 선속을 3kt 이하로 줄이면서 진입하는 것이 좋을

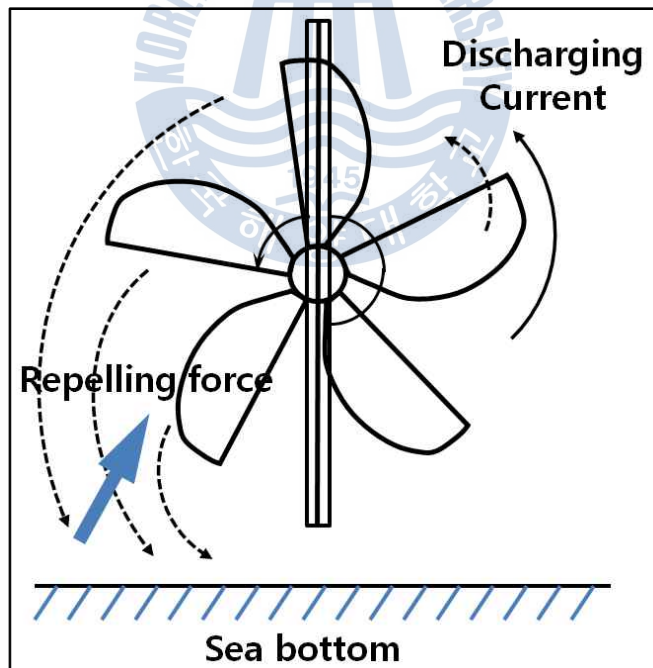
것으로 판단된다.

## 5.2.2 여유수심의 크기

여유수심은 흘수  $d$ 와 수심  $h$ 의 관계로 주어진다. 본 연구의 예에서 보면 흘수는  $17.40m$ , 수심은  $19.50m$ 이다. 따라서  $h/d$ 는 다음과 같다.

$$h/d = 1.12$$

이렇게 여유수심이 없는 경우에 후진기관을 사용함으로써 발생하는 배수류에 대하여 프로펠러를 기준으로 살펴보면, 프로펠러의 우현측에서 나오는 배수류의 가속수류는 전진 속력이 있으므로 우현선미로 나아가지 못하고 그냥 거의 프로펠러의 우현 상부에 머물러 있을 따름인데 반하여 프로펠러의 좌현측에서 나오는 배수류의 가속수류는 거의 해면에 직각방향으로 때리게 되므로 배수류의 쌓임 현상 혹은 때림 현상으로 발생한 반력으로 선미를 강하게 우현쪽으로 밀게 된다. 이에 따라 선수는 좌선회하게 된다.



<그림 5-5> 가속수류의 해저 쌓임현상(선속 4노트 이상)



실제 선박의 예에서 보듯이 <그림 5-1>의 ②의 위치에서 우현타를 사용하여 얻은 선수 우선회 모멘트보다 후진기관 사용으로 선미를 우현으로 밀어내는 모멘트가 크게 되면 선수는 우선회를 멈추고 좌선회할 것이다. 우현타 사용으로 인한 타압선회모멘트를  $R_m$  이라 하고, 후진기관 사용으로 발생한 선미를 우현으로 밀어내는 반력선회모멘트를  $L_m$  라고 할 때,  $L_m \geq R_m$  일 때 선수는 우선회를 멈추고 좌선회를 시작할 것이다.

$$R_m = 2.4 \times \frac{1}{2} \rho A v^2 \sin \mu \cos \mu \times \frac{L}{2} \leq L_m$$

단, 여기서  $\rho$ 는 해수의 비중,  $A$ 는 타의 면적,  $v$ 는 선속,  $\mu$ 는 타각,  $L$ 는 수선간장이다.

즉, 우현타에 의한 선체의 타압선회모멘트  $R_m$ 보다 후진기관 사용에 의한 반력모멘트  $L_m$ 이 클 때 위와 같은 현상이 발생한다.

### 5.2.3 광탄선의 전진 속력의 크기

경험에 의하면 전진 선속이 4노트 이상이 되었을 때, 선수 좌선회 현상이 발생하는 이유는 선박의 전진에 따른 물의 흐름이 후진기관을 사용으로 발생하는 배수류의 가속수류보다 같거나 약간 빠르게 되어 배수류가 거의 추진기 직하의 해면을 때리게 되므로 이로 인한 반력으로 인하여 선미가 오른쪽으로 즉, 선수가 왼쪽으로 선회하게 된다. 이의 원인은 앞에서 언급한 작은 여유수심(UKC)과 직접적인 영향이 있다.

한편, 전진 속력 3노트 이내가 되면, 좌선회 현상이 거의 생기지 않는 이유는 후진기관 사용에 따른 배수류의 가속수류가 빠르므로 우현 선미에 작용하는 측압의 힘이 프로펠러의 좌현 하부에 발생하는 반력보다 크기 때문에 선미가 좌현 즉, 선수가 우현으로 선회하게 된다. 반력이 작은 것은 배수류가 프로펠러 직하에 쌓이지 않고 그대로 좌현 선미의 하부로 빠져나가 버리기 때문이다.

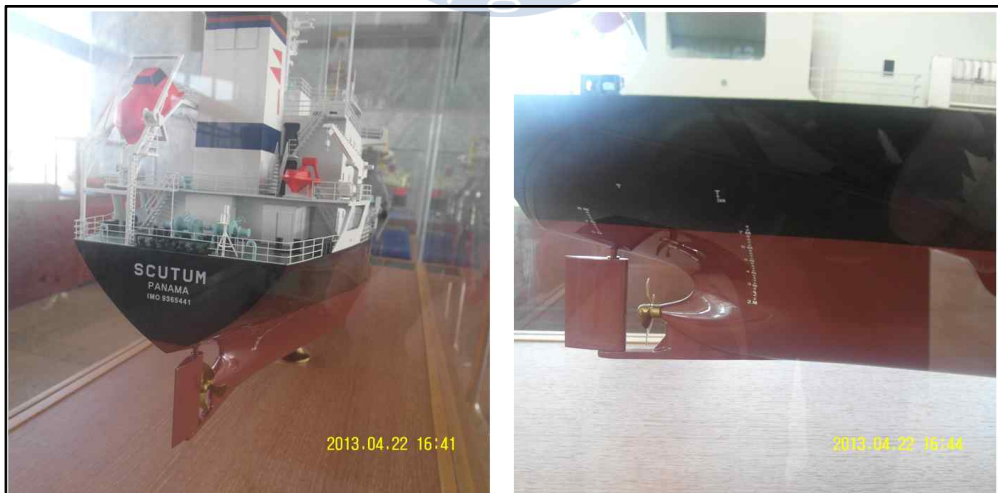
## 5.2.4 사용한 후진기관의 크기

4노트 이상의 속력에서 선박을 제어하기 위하여서는 “Half Astern” 이상의 기관을 사용하므로 이로 인한 배수류는 더 많이 발생하여 프로펠러 왼쪽 직하의 해저 때림 현상에 의한 반력이 크게 된다. 이로 인하여 선미는 우선회 즉, 선수는 좌선회가 더욱 증대된다.

한편 컨테이너의 경우에는 광탄선과 동일한 기관, 예를 들어 “Half Astern”를 사용하여 얻은 속력이 광탄선의 경우보다 크다. 이것은 프로펠러의 배수류의 가속수류는 컨테이너선이 더 빠르다는 의미이다. 이 때문에 후진기관 사용에 따른 배수류의 가속수류가 우현 선미의 선저를 때리게 되므로 선미 좌선회 즉, 선수 우선회 현상이 발생하게 된다.

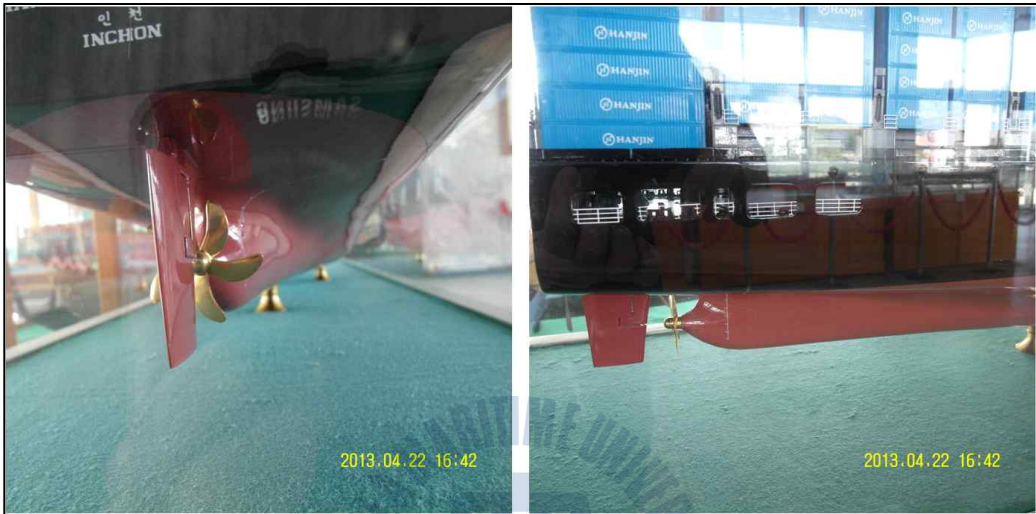
## 5.2.5 선미 형상

대형 광탄선과 같이  $C_B$  (Block coefficient, 방형비척계수)가 큰 선박에서는 배수류가 선저를 따라 매끄럽게 이동하여 선수쪽으로 빠져나가지 않고, 오히려 좌현 선미쪽 해저에 더 쌓이게 되는 현상을 초래할 것으로 예상된다. 이 때문에 자유롭게 빠져 나가지 못한 배수류는 그대로 반력으로 작용하여 선미를 우선회 즉, 선수를 좌선회시키도록 작용한다.



<그림 5-6> 광탄선의 선미 형상(정선미, 측면)

<그림 5-6>과 <그림 5-7>에서 보면, 정선미에서 볼 때 날렵한 모습은 두 선박이 비교적 비슷하지만 이 모양이 선수방향으로의 진행된 형태는 광탄선은 컨테이너선박에 비하여 아주 짧다. 상대적으로  $C_B$ 는 광탄선이 크다는 것을 알 수 있다.



<그림 5-7> 컨테이너선의 선미 형상(정선미, 측면)

그러나 이에 대한 논리는 다소 미흡한 감이 있다. 왜냐하면 후진기관 사용에 따른 배수류의 가속수류가 전진 속력을 따라 잡지 못하기 때문에 선미의 선저까지 도달하기 어려운 점이 있기 때문이다. 이에 대하여서는 보다 세밀한 검토가 필요할 것으로 보인다.

### 5.2.6 해저 지형의 영향

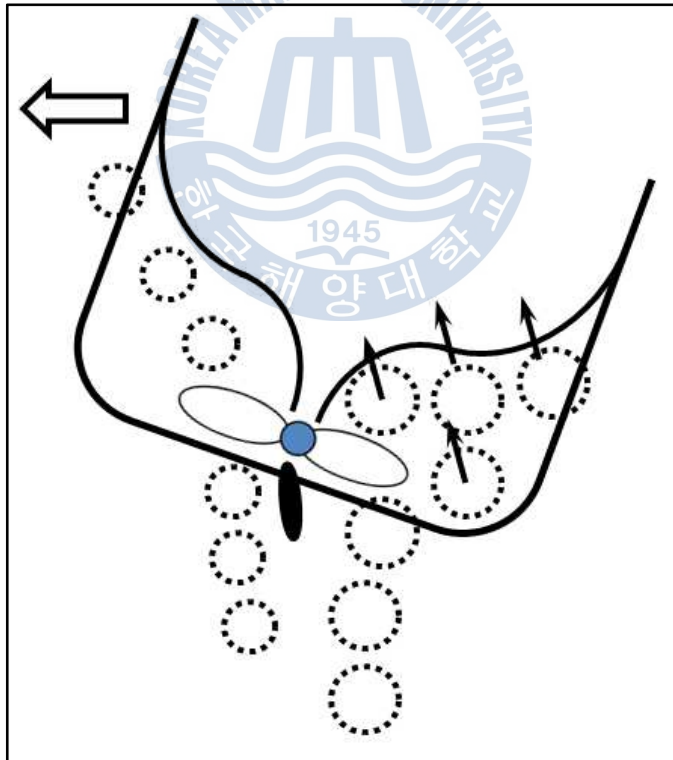
경사되어 있는 해저면 위를 선체가 진행할 때에도 이 경사로 인하여 선체는 비대칭적인 유체력을 받아 선회운동을 하게 된다. 이러한 영향력의 크기는 선체의 속도, 배수량, 흘수, 수심 등에 의하여 결정되지만, 선체의 진행에 수반하는 수량(水量)의 이동(선체가 진행하면서 배제하는 수류, 수반류, 추진기의 방출류 등)이 미치는 곳에 안벽, 타 선박, 해안, 해저가 있는 이상 반드시 그 영향이 되돌아오는 것이다. 선저가 해저의 경사와 가까워지면 다음과 같은 영향이 나타난다.

- ① 전진 중에는 선수가 깊은 쪽으로 편향한다.
- ② 후진 중에는 선미가 깊은 쪽으로 편향한다.

### 5.2.7 선체생성측압류의 영향

실례에서 후진기관을 사용하기 전에 우현타를 사용하였으므로 선미 우현쪽에는 선체발생측압류가 형성이 되어 우현 선미를 따라 오면서 우현 선미를 좌현 쪽으로 밀게 된다. 이에 따라 선수는 오른쪽으로 돌아가게 된다.

그러므로 이 선체생성측압력은 키를 사용하여 발생하는 타압모멘트에 추가하여 발생하는 선회력으로 생각할 수 있다. 그러나 이번 연구의 포항항 예처럼 이 현상에 의한 선수의 우선회 현상은 나타나지 않고 오히려 좌선회 현상으로 바뀌는 것은 선체생성측압력이 해저반력에 의한 힘보다 작기 때문으로 파악된다.



<그림 5-8> 선체생성측압류의 영향

### 5.3 후진기관 사용시 선수 좌선회에 관한 종합 고찰

이상의 내용을 종합할 때, 200K 톤 이상의 만재한 대형 광탄선박이 부두로 접근조선을 수행함에 있어서 4노트 이상의 속력으로 전진하면서 작은 우타각에 의하여 우선회하고 있을 때, “Half Astern” 이상의 큰 후진기관을 사용하게 되면, 배수류의 좌현선미 해저의 때림현상 그리고 곧이어 발생하는 배수류의 해저쌓임현상에 의한 반력으로 선미가 우선회 즉, 선수가 좌선회하는 현상이 발생하는 것으로 사료된다.

이러한 사실은 포항항의 현장 선박조종을 통하여 경험한 것으로써, 이의 근본 원인은 작은 UKC에 의한 천수영향으로 이해된다고 하겠다. 그러나 이러한 현상의 구체적인 원인은 위에서 기술한 ‘제한수로 영향’의 각종 요소들이 복합적으로 작용하여 나타나는 현상으로 요약된다고 고찰을 할 수 있다.

### 5.4 선수 좌선회 현상을 피하기 위한 실무조선행법

포항항의 항로를 따라서 만재한 대형 광탄선박을 입항조선 시 <그림 5-1>의 ①에서부터 타효유지를 위해 ‘Dead Slow Ahead’ 또는 ‘Slow Ahead’ 기관을 사용하면서 선미 양측에 예선을 테일 예선(tail tug)으로 잡고, 선미방향으로(6시 방향) 당기면서 입항하여 변침점 ②의 위치에서 선속 3노트 이하를 만들면, 거의 좌선회 현상이 발생하지 않는다.

강한 풍조하에서, 동방과제를 안전하게 통과하기 위한 타효 유지를 위해서 부득이 감속하지 못했을 경우에는 미리 선수의 좌선회를 예상하고 선미에 잡은 좌현측 예선을 선수미선 기준으로 직각방향으로 후진 준비시키고, 우현 선미 예선을 밀 준비를 시키면서 부두접근 조선을 하면 된다. 이러한 상태에서 후진 기관을 걸었을 때 선수 좌선회 현상이 나타나면 미리 준비된 예선을 활용하여 선수 좌선회 현상을 억제하면 될 것이다.

그리고 안전성 확보를 위한 입항조선을 위해서는 가능한 큰 UKC를 확보하도록 노력하여야 한다. 이는 항만의 효율적인 운영측면에서는 현실적으로 쉽지 않은 일이지만, 작은 UKC에서 접근조선을 수행해야 될 때에는 가능한 최대크기의 고마력의 예선을 사용하도록 하여야 한다.

## 제 6 장 결론

포항항에서 대형 광탄선이 만재한 상태에서 항로 폭이 좁고 UKC가 작은 항로를 통항하여 부두접근 조선을 수행할 때, 전진속력이 4노트 이상인 상태에서 강한 후진기관을 사용하면 가끔씩 급속한 선수 좌선회 현상이 발생함을 경험하게 된다. 이러한 현상의 원인은 아직 이론적으로 정확히 검증되지 않은 것으로 알려져 있지만, 그 원인을 경험적인 측면에서 고찰하면 다음과 같이 추정된다.

첫째, 포항항에서 제1부두 10번 선석으로 만재한 대형 광탄선을 접안조선시에 발생하고 있는 후진기관 사용시 갑작스런 선수 좌선회 현상에 대해서는 진입하는 선박의 선속과 제한수로의 영향이 가장 큰 원인으로 판단된다. 따라서 이 부근수역에서 안전조선을 위해서는 먼저 충분한 수심이 확보되어야 할 것으로 판단되고 외력이 없다는 전제하에서 현재의 수심에서는 선속을 3kt 이하로 줄이면서 진입하는 것이 좋을 것으로 사료된다.

둘째, 경사되어 있는 해저면 위를 선체가 진행하면 이 경사로 인하여 선체는 비대칭적인 유체력을 받아 선회 운동을 유발하게 된다. 이러한 영향력의 크기는 선체가 진행하면서 배제하는 수류, 수반류, 추진기의 배수류 등이 미치는 곳에 안벽이나 해저경사가 있으면 그 영향으로 나타나는 현상으로 전진 중에는 선수가 깊은 쪽으로 편향하고, 후진 중에는 선미가 깊은 쪽으로 편향하게 된다.

셋째, 선수 좌선회 현상의 또다른 원인으로는 여유가 없는 UKC상태에서 후진기관을 사용하면, 후진기관 배수류가 선미 선저를 미쳐 빠져나가지 못하고 선미 좌측에 쌓이게 되어(고압부 형성) 선미를 우측으로 밀어내는 큰 힘이 발생하게 되고, 이 힘은 배수류의 측압작용이 생기기 전에 먼저 발생하는 것으로 추정된다.

넷째, 일반적으로 후진기관 사용시 발생하는 가속수류의 속력이 4~5노트 정도이므로 배수류 측압작용은 전진선속이 4노트 이하가 되면서 본격적으로 작용

하게 된다. 그러나 이 연구에서처럼 선속이 4노트 이상이면 배수류의 가속수류가 우현선미를 때리는 것보다 좌현 해저를 때림으로써 생기는 반력이 커서 좌선회 현상이 발생한다.

다섯째, UKC가 작은 대형 광탄선의 후진기관 사용시 타효에 의한 우선회력 및 배수류의 측압작용에 따라서 선수의 우선회 현상이 나타나지 않고 오히려 좌선회 현상으로 바뀌는 것은 선체생성측압력이 배수류의 해저 때림에 의한 반력보다 작기 때문으로 판단된다.

여섯째, 선미형상에 따른 선미부근의 방형비척계수( $C_B$ ) 및 선수, 후진추력의 크기 등의 상관관계에 의한 영향이 있을 것으로 판단되며, 이러한 요소에 대한 검증이 필요한 것으로 판단된다.

이상의 포항항에 있어서 대형 광탄선의 만재상태에서의 선수 좌선회 현상에 대응하기 위한 실무적인 조선법으로는 천수구역의 항로진입 시에 타효 유지를 위한 최소의 기관을 사용하면서 선미 양측에 테일 예선 2척을 잡고, 선미방향으로 당기면서 입항하여 변침점의 위치에서 선속 3노트 이하를 유지하면 거의 좌선회 현상이 발생하지 않을 것으로 판단된다. 그리고 강한 풍조 하에서 타효 유지를 위해 부득이 감속하지 못했을 경우에는 좌선회를 예상하고 선미에 잡은 좌현 예선을 직각방향으로 준비시키고 우현선미 예선을 밀 수 있도록 준비시키면 될 것으로 판단된다. 또한 가능한 충분한 UKC를 확보한 상태에서 입항조선을 하도록 하고, 작은 UKC상태에서 입항조선시에는 가능한 고마력의 예선을 사용하도록 하여야 한다.

이 연구결과에서 밝혀진 내용 즉, 작은 UKC와 배수류의 쌓임 혹은 때림 현상, 기관의 추력과 가속수류, 선미의 현상 등은 실험적으로 검증이 된 것은 아니다. 따라서 수조 실험을 통한 검증이 필요하며 이것은 다음의 연구에서 밝히기로 한다.

## 참고 문헌

- [1]尹点東(2012), 船舶操縱의 理論과 實務, 세종출판사, p.128.
- [2]윤점동(1997), 「거대형선 조선론(조종특론)」
- [3] 한국해대 마린에듀텍, 선박조종능력향상교육(Ship Handling Simulation training course) 교재, 2013
- [4]井上欣三(2011), 操船の理論と實際, 成山堂書店, p.80.
- [5]本田啓之輔(2008), 操船通論, 成山堂書店, p.47
- [6]해기연수원(1996), 「Ship handling for pilots」
- [7]House, D.J.(2007), Ship Handling-Theory and Practice-, Elsevier, p.57-58.
- [8]Daniel H. M.(2004), Ship Handling for the Mariner, Cornell Maritime Press, 4 edition, p.47.
- [9]Dokkum, K.V.(2011), Ship Knowledge, Dokmar Maritime Publishers B.V., 6th Edition.
- [10]Jeff S.(2008), Ship Handling with Tugs, Cornell Maritime Pr/Tidewater Pub 2 edition, p.303.
- [11]Williamson, P.R.(2001), Ship Manoeuvring Principles and Pilotage, Witherby, pp. 13-16.