



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위 논문

선박과 교량의 충돌예방을 위한 조종술에 관한
연구

A Study of Ship Maneuvering for avoiding Collision between
Ship and Bridge across Channel



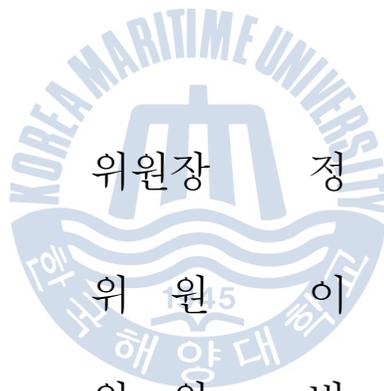
2014년 2월

한국해양대학교 대학원

항해학과

윤 병 원

본 논문을 윤병원의 공학석사 학위논문으로
인준함.



위원장 정 태 권 (인)

위 원 이 춘 기 (인)

위 원 박 진 수 (인)

2013년 12월 10일

한국해양대학교 대학원

목 차

List of Tables	iv
List of Figures	v
Abstract	vi

제1장 서 론

1.1 연구의 배경과 목적	1
1.2 도선 중 해양사고 유발요인	2

제2장 해상교량과 항로의 적정성

2.1 항로의 환경여건 연구	9
2.1.1 해상교통 공학적 환경여건	9
2.1.2 항로의 길이	10
2.1.3 혼잡도(교통량)	11
2.1.4 항로의 폭과 선형	12
2.1.5 인공수로의 물리적 적정 항로 폭	13
2.1.6 선체의 길이와 시각적 길이	14
2.1.7 교량부근 항로의 적정성	15
2.1.8 교각사이 항로의 적정성	16
2.2 환경여건에 따른 항로의 적정성	17
2.2.1 직립 구조의 인공수로 항로 폭과 심리적 적정 항로 폭	17

2.2.2 완만한 경사의 자연수로 항로 폭	20
2.2.3 통항량이 많은 완만한 경사의 긴 자연수로 항로 폭 ..	21
2.2.4 항로와 부두의 수심	22

제3장 선박의 조종운동 특성 및 안전운항

3.1 선박조종운동에 미치는 유체력 특성	25
3.1.1 수심 및 측벽의 영향	25
3.2 선박조종운동에 미치는 기관, 프로펠러 및 타의 영향	27
3.2.1 기관의 종류 및 특성	27
3.2.2 프로펠러 및 타의 영향	29
3.2.3 불안정 회두 모멘트	31
3.3 선박조종운동의 일반적인 특성과 개선방안	38
3.3.1 정지거리의 판단과 개선방안	38
3.3.2 조종성의 판단과 선회성 개선방안	43
3.3.3 후진기관 사용시 우회두 위험	49
3.3.4 외력의 효과	51
3.4 선속에 따른 회두운동 특성	52
3.4.1 조종성 확보 선속	52
3.4.2 조종특성 파악거리와 사용 타각의 정례화	55
3.5 조종과 항법장비	56
3.5.1 조타기	56
3.5.2 레이더	56
3.5.3 항법통신	57

제4장 선박조종의 기술적 대응요소

4.1 선박조종의 기술적 요인	59
4.1.1 감속 스케줄과 급감속중 타효 상실	59

4.1.2	타효 유지	61
4.1.3	선박조종운동에 미치는 유체력	62
4.1.4	기관사용	63
4.1.5	예선사용	65
4.2	선박조종에 영향을 주는 환경요인	68
4.2.1	시정 불량	68
4.2.2	배후광에 의한 시인불량	68
4.2.3	압류와 압류의 시인(추정) 방안	69
4.2.4	표지와 조명의 부재/불량	69
4.3	위험의 감소방안	70
4.3.1	지방해양항만청 운영세칙의 공시와 홍보	70
4.3.2	교량의 시인성 개선	71
4.4	피험 대책과 안전통항 기법	75
4.4.1	통항 전 점검	75
4.4.2	교량통항 계획	76
4.4.3	예선준비와 사용	78
4.4.4	돌발 상황 대응	79
4.4.5	인위적 요인	80
제5장 결 론		
5.1	선박 조종성 연구	82
5.2	현장 적용의 검증과 안전절차의 세척화	82
5.3	교량통항 절차와 관제기법의 연구	83
참고문헌		86

List of Tables

Table 1 교량 설계 관련 최근 연구 목록	2
Table 2 최근 5년간 20분 이상 기관고장 선박 (평택항)	4
Table 3 항로의 합리적인 폭	19
Table 4 선박 크기별 감속 스케줄	61



List of Figures

Fig. 1 중국적 선박의 기관 RPM 지시침 헌팅 장면	5
Fig. 2 기준 초과선박의 교량 통항시 예선 배치	7
Fig. 3 교량 하부 통항 장면	10
Fig. 4 항로의 굴곡부	13
Fig. 5 인공수로 편도항로 최소 폭	17
Fig. 6 인공수로 왕복항로 최소 폭	18
Fig. 7 짧은 자연수로 왕복항로 최소 폭	21
Fig. 8 긴 자연수로 왕복항로의 최소 폭	22
Fig. 9 부두 직하와 항로 중앙부 구간의 해저 풍화 작용	23
Fig. 10 불안전 모멘트의 배수류	32
Fig. 11 10만 DWT 선박의 반속 후진기관 정지거리	43
Fig. 12 저항과 전심의 이동원리	45
Fig. 13 전심 이동의 예	47
Fig. 14 ULOC 입항 접안시 항로 차단시간 감소와 선회권 축소방안	48
Fig. 15 예선 동행에 의한 선체주위 유선 변화	54
Fig. 16 평택항 서해대교 관련 세척의 공시와 홍보 (안)	71
Fig. 17 교각 조명 투광기와 충돌방지공 선단의 윤곽등	72
Fig. 18 청명한 암야에만 보이는 교각 표시등	73
Fig. 19 교각표시용 등표의 중시등 역할	74
Fig. 20 교각 표시용 중시등표의 이용사례	74
Fig. 21 도선 확인서의 선체높이(Air Draft) 기입란	75
Fig. 22 서해대교 제원	78

선박과 교량의 충돌예방을 위한 조종술에 관한 연구

YOON, Byung-Won

Department of Navigation Science

Graduate School of Korea Maritime and Ocean University

Abstract

항로를 횡단하여 건설되는 교량이 증가하고 해상교통의 증가에 비례하여 항로의 혼잡도가 증가하는 만큼 선박과 교량의 충돌우려가 커지고 있으며, 세계적으로 매년 1개의 교량이 선박과의 충돌로 붕괴되고 있다고 한다. 선박과 교량의 충돌은 재난급 사고의 개연성이 크다. 직접 손괴를 일으키는 큰 충돌이 아니더라도 선박이 교각을 스치고 지날 때의 충격과 진동만으로도 교량상판이 균형을 잃고 연쇄 붕괴하는 일이 발생하여, 인명과 재산의 손실이 발생하고 있기 때문이다. 교각의 폭과 충돌 방지공 등 교량의 하드웨어 연구는 많은 반면, 충돌의 위험을 줄이기 위한 선박의 조종과 같은 소프트웨어 연구는 많지 않다. 선박조종의 실무경험을 바탕으로 환경과 조종술을 연구하고 정리하여 교량 통항시에 선박과 교량의 충돌위험을 줄이기 위한 실효적인 방안을 제시하고자 한다.

KEY WORDS: 선박과 교량의 충돌, 적정 항로폭, 적정 교각폭, 선박의 조종특성, 해상교통 혼잡도, 교량환경, 관제환경

Abstract

Nowadays they had built and are building many bridges across narrow channels between main land and nearby islands in many countries all over the world. The bridges have made flowing of the traffic of cars and transportation of goods on land to be quick and safe, but bridges across channel give great hardship to the traffic of vessels on water near or under it giving traffic congestion of vessels and collisions between them. Recent statistical data of Lloyd's publication presents that one great colliding accident occurs between bridges and vessels in every one year. Accident of collision or touching of a large vessel with the bridge over a channel sometimes makes disastrous result because a bridge slightly injured due to colliding or touching with a large vessel will have the possibility of sudden collapsing after long lasted vibration received from heavy cars passing over it. So, when they plan to construct a bridge the designer study seriously the length of distances between ports supporting the bridge and also shock absorbing devices to be added to them. Nowadays the study about safe maneuvering of a large vessel passing under a bridge is increasing its importance but it is rare even now. In this paper, the author investigated various safe maneuvering methods theoretically on the basis of his actual maneuvering experiences and suggest them here.

Key words ; ship and bridge collision, reasonable fairway, reasonable bridge span, ship's maneuvering characteristics, sea traffic congestion, fairway environment under bridge, techniques of sea traffic control

제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경과 목적

세계 각지에서는 선박이 통항하는 항행수역에 해상교량이 건설되고 있다. 이 과정에서 항만의 입구나 항내 지정항로 위를 가로지르는 교량이 건설되는 경우가 있어, 해상교량 하부를 통항하는 선박에게 위험요소로 작용하여 해양사고를 유발하는 원인으로 작용된다.

우리나라에서는 2009년 인천대교의 완성과 더불어 서해대교, 부산의 북항대교와 남항대교, 광양의 이순신 대교, 울산대교 등과 같이 선박이 통항하는 항행수역에 활발하게 해상교량이 설치되고 있다. 이로 인해 선박 운항자에게 실수를 유발할 수 있고, 도선사에게는 도선에 대한 부담 등으로 작용하고 있다.

항로를 횡단하여 건설된 교량은 그 교각의 폭이 넓던 좁던 선박의 기관이나 타기의 고장, 강풍과 같은 외력의 영향 및 인위적인 실수 등 선박이 항로를 이탈할 개연성이 있는 한, 선박과 교량의 충돌에 따른 교량의 손상이나 붕괴위험은 상시 존재한다.

지금까지 교량의 설계와 관련한 최근 연구내용을 살펴보면 주로 교각 폭의 결정, 적정위치, 관련 법령 등의 연구에 국한되어 이루어졌으며, 그 내용은 Table 1과 같다.

Table 1. 교량 설계 관련 최근 연구 목록

연구자	연구내용	연구년도
박영수, 이윤석, 박진수 등	해상교량 관련인자 분석을 통한 교량 설계안	2009년
박영수, 이윤석, 이은 등	해상교량의 적정 위치 및 규모	2009년
이윤석, 조익순, 조주현 등	국내 항만횡단 해상교량 관련 시뮬레이션 분석	2008년
송재욱, 이윤석, 정민 등	국내 해상교량 주요 제원 분석	2007년
정규삼, 정태섭	국내 해상교량 건설에 따른 문제점 및 기준	2007년
박진수, 강정구	미국의 해상교량 관련 법령 및 절차 연구	2007년

교량의 환경 및 선박 통행 중 교각과의 충돌위험을 분석하고 교량의 통행 안전대책 및 충돌 예방을 위한 선박의 조종술을 제시하여 선박과 교량의 충돌위험이나 그러한 개연성을 줄이고자 하는 것이 본 연구의 목적이다.

1.2 도선 중 해양사고 유발요인

사고가 발생할 수 있는 시나리오는 다양하다. 단 한가지의 개연성이 사고로 이어지는 경우도 있으나 두 가지 이상의 개연성이 중첩될 때 사고발생 우려는 더 커진다. 예컨대 평소에는 본선의 기관과 조타기를 우선 사용하고 예선은 보조로 사용하거나, 예선을 사용하는 경우라도 여유를 가지고 반속이나 미속으로 사용하므로 예인색과 예선의 기관에 부담이 적고 예비마력이 확보되지만, 본선의 기관에 이상이 발생하면 예선을 전속으로 사용하게 되므로 예인색과 예선의 기관에 부담이 커지게 되고, 예인색의 파단이나 예선의 기관고장이 발생하기 쉬운 여건이 된다. 사고 개연성을 종류별로 구분하면 다음과 같다.

① 인적요인 (인위적요인, Human Error)

선박을 조종하는 선장이나 도선사 또는 조타수의 인적 과실 개연성이다. 교량부근을 통항하던 선박의 도선사가 자신의 생각과 반대로 구령을 하거나, 명령을 받은 조타수가 복창한 구령과 반대로 타각을 사용하는 실수¹⁾를 의미한다. 갑문의 입구나 교량을 통항하기 직전에는 심리적인 중압감과 긴장감이 커지게 되며, 그러한 상황에서는 평소에 발생하지 않던 실수가 나타나기 쉽다. 도선사가 좌전타(Hard-Port)를 생각하면서도 우전타(Hard-Starboard)를 구령하거나, 조타수가 복창한 구령과는 반대로 타각을 사용하는 사례로서, 선박이 원하는 방향과 반대로 선회하기 시작할 때까지 인식하지 못하는 것이 보통이다. 위험한 쪽으로 이미 회두를 시작한 선박을 다시 반대타로 수정을 하더라도 충돌위험을 피하기 어려워서 사고로 이어질 개연성이 크다.

경험 많은 선장이나 도선사는 손짓으로 타각의 좌우 방향을 가리키며 구령을 보조하거나, 구령을 한 후에 타각이 지시한 대로 움직이는지 타코미터를 확인하는 습관을 통하여, 스스로의 실수나 조타수의 실수를 예방한다. 해군에서는 Port나 Starboard 구령 대신에 right(오른편)와 left(왼편)를 사용하여 지휘관이나 조타수의 실수를 줄이고 있다. 미국 해군 신병을 대상으로 실험한 결과 Right와 Left를 이용한 구령이 Port와 Starboard 구령보다 실수를 현저히 줄인다고 한다.

② 기관 시동횟수의 증가 (Main Engine)

1) 도선을 하다보면 한 도선사가 연간 십여 차례 이상이 될 만큼 조타수가 구령한 타각을 반대로 복창하거나 복창한 타각과 반대로 타를 사용하는 경우를 경험한다. 도선사 스스로도 타각을 자신의 생각과 반대로 구령하고 이내 수정하기도 한다. 그러나 일단 사고가 발생한 후에는 서로 잘못을 인정하지 않는다. 특히 갑문의 입구나 부두 접안직전 및 교량 통항 등 민감한 순간에는 자신이 구령한 대로 타각이 움직이는지 매번 확인하여야 한다. 대형선의 공동 도선이나 선장이 도선선의 도선을 감독하여야 할 법적 의무를 부여하고 있는 이유이다.

선박이 평소 항행에는 기관의 변속만을 사용하는 것이 보통이지만 교량의 통행이나 접·이안 조종시는 기관의 정지와 시동 및 역회전을 평소보다 많이 사용하게 된다. 기관의 시동회수에 비례하여 시동불량이나 기관 고장의 개연성이 많아진다. Table 2에서 보는 바와 같이, 과거 5년간(2008년 ~ 2012년) 평택항에서 운항중이거나 접·이안 중에 발생한 기관고장으로 20분 이상 Dead-ship이 발생한 경우는 111건으로서, 해당기간 전체 출입항 선박의 0.25%이며 연평균 22척에 달한다. 기관의 시동불량으로 수분 이상 20분미만의 조종불능이 되었던 선박은 기관고장보다 몇 배 이상 많을 것으로 생각되며, 잠시라도 기관의 사용이 제한되었던 선박은 연간 60~80척 이상일 것으로 추정되지만, 20분미만의 시동불량이나 기관고장은 공식적으로 기록되지 않으므로 추정만 할 따름이다.

Table 2. 최근 5년간 20분 이상 기관고장 선박 (평택항)

년도	총척수	발생척수	비율
2008년	6,363	21	0.33%
2009년	6,552	22	0.34%
2010년	9,084	16	0.18%
2011년	10,540	18	0.17%
2012년	11,720	34	0.29%
합계	44,259	111	0.25%

<출처 : 평택항 도선사회>

용선료가 저렴한 중국적 노후 선박의 출입항이 많을수록 기관고장을 많이 경험하게 된다. 승선하여 느끼는 선박과 선원의 이미지에서 경험 많은 도선사들은 감각적으로 기관의 시동불량이 걱정되는 위험선박을 느끼는 것이 보통이다. 기관고장이나 시동불량은 기관의 시동을 많이 하는 접·이안 작업이나 교량의 통행시에 많이 발생하는 것을 고려하여 사전에 그

러한 일이 발생할 가능성을 염두에 두고 앵커의 비상투묘나 예선의 동행 등 적절한 대응책을 준비하여야 한다.

중국적 노후선박 및 기준미달선박과 관련하여 평택항 도선사회가 평택 지방해양항만청에 발송한 아래 내용의 공문을 보면 그 심각성을 확인할 수 있다.

출력의 30%를 “Full ahead”로 사용하는 중국적 노후선박 MS "O. SS." 사례

왼쪽 깨어진 유리창의 RPM은 게이지의 1/3 정도이며 지시침이 현탕하고 있었다. 지시 침의 현탕은 정상적인 압축폭발을 하지 않는 기관 실린더가 있기 때문이다. 7.5(Kg/cm²?)를 가리키고 있는 오른쪽 위 시동공기압 게이지는 한두 번 더 시동을 하면 공기압 부족으로 기관시동이 되지 않을 것임을 예고하고 있으며 부두 접이안중이나 교량 통항중 기관머통(Dead-ship)이 잦은 것은 이러한 사정 때문이다.

감항성 미확보로 도선 거부대상이지만 대부분 중소형 중국적 노후 선박이 비슷한 사정이다 보니 수많은 중국적 덩핑선박을 형평성에 맞게 일괄 도선거부하기도 쉽지 않고, 접안 중 기관머통(Black out)이 될까봐 불안하기만 하다. 예선을 뒤로 당기거나 앞에서 45도 뒤로 미는 등 다양하게 활용하여 그러한 기관머통 선박이 사고로 이어지지 않도록 노심조사할 뿐이다.

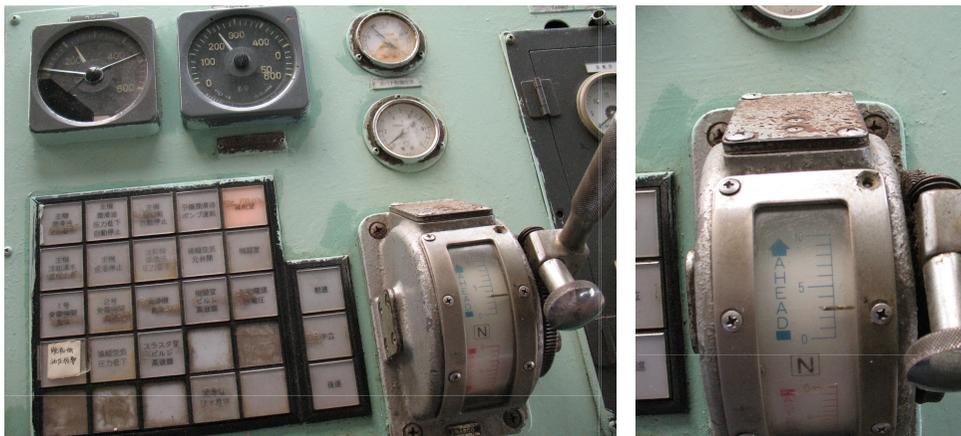


Fig. 1 중국적 선박의 기관 RPM 지시침 현탕 장면

③ 예선(TUG)

예선의 사고는 기관고장과 예인색의 파단문제로 구분할 수 있다. 개인적으로도 연간 수차례 이상 예선의 기관문제나 예인색의 파단을 경험하지만 그러한 문제가 사고로 연결되어 해양안전심판원의 조사를 거치지 않는 기록되지 않으므로 통계에 나타나지는 않는다. 실제로 기관에 문제가 발생한 예선도 책임회피를 위하여 기관의 고장을 인정하는 경우는 드물다. 예컨대 전속으로 당기라는 지시에도 불구하고 예인색이 늘어진 채로 당기지 않고 있지만 무슨 문제가 있느냐고 물어보면 전속으로 당기고 있다고 대답을 하는 것이 보통이다.

이러한 실정임을 감안하여 본선 기관과 조타기를 우선적으로 사용하고 예선은 차선으로 예비하는 조종습관이 바람직하며, 예선의 고장이나 예인색의 파단에 대비할 시간적 여유를 확보하기 위하여 접안 직전이나 교량의 통과 전에는 조종성이 유지되는 범위에서 충분히 감속을 하고 위 칼럼의 경우처럼 기관의 문제가 예상되는 경우는 좀 더 멀리서 예선을 잡고 동행하며 미리 앵커를 준비하는 등의 주의가 필요하다.

④ 외 력

외력은 바람과 조류가 비정상하게 강한 경우이다. 강한 조류는 미리 예측 가능하지만 바람은 예측이 불가한 돌풍도 있다. 한 예로, 풍속 10m/sec 미만의 그리 심하지는 않은 바람을 받으며 풍압면적이 큰 자동차 운반선을 180도 회두하는 수분동안 무려 초속 18m/sec 이상의 돌풍으로 변하여 밀리는 선박을 예선으로 저항하지 못하고 사고의 직전까지 간 경험도 있다. 선박이 교량을 통항하기 2~3마일 전에는 그다지 심하지 않았거나 선수미 방향이었던 바람이 교량에 근접하는 10~20분 사이에 횡방향으로 변하거나 풍속이 강해질 수 있으며 그로 인하여 선박의 보침이 어려워질 수도 있다.

항상 미리서 예선을 잡고 동행을 하는 신중한 습관이 필요하며 교량 충돌방지공의 용량을 초과하는 선박은 선미에 감속예선을 잡고 교량을 통항²⁾하도록 하는 “도선안전기준”을 마련하는 것이 바람직하다.

Fig. 2는 「평택·당진항 도선안전기준」 서해대교 안쪽부두와 교량 통항(8.5)에 명시하고 있는 교량통항시 예선의 배치도이다. 왼쪽은 갑문의 입거나 선미 감속예선의 마력이 부족할 때 선수 양현 예선으로 감속하며 전심을 선수쪽으로 이동시켜 선회권을 줄이는 특별한 방법이고, 오른쪽은 대마력 선미 감속예선을 사용하여 선체의 회두없이 안전하고 직감적인 감속을 하거나 전진기관을 사용하며 증속(Gather way)없이 타효를 개선하는 통상의 방법이다.

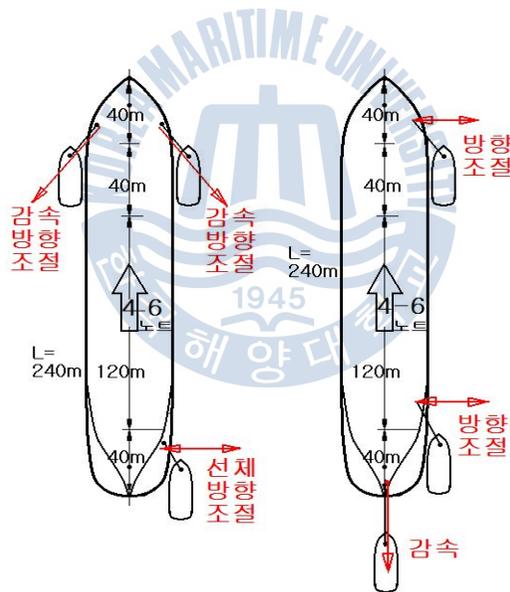
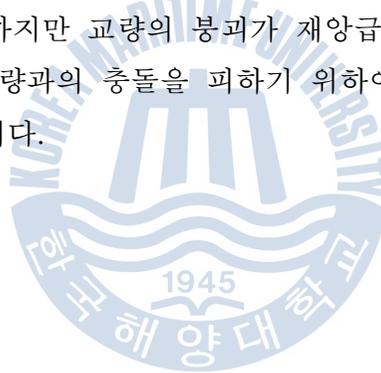


Fig. 2 기준초과선박의 교량 통항시 예선배치

2) 평택항은 5만 DWT인 교량의 충돌방지공 용량을 초과하는 선박은 안전조치로서 선측의 접·이안 예선 이외에 5천 마력급의 선미 감속예선 (Tail Tug)를 동행하도록 도선안전규정을 정하고 있다. 「평택·당진항 도선 안전기준」 교량통항 기준 초과선박의 감속예선, p32.

⑤ 돌발 상황

가장 위험하고 발생빈도가 큰 경우로, 교량 통행 직전의 민감한 위치에서 어선이나 잡종선, 해군 또는 해경함정의 갑작스러운 횡단에 이를 피하고자 대 타각 급선회를 한 후에 교각으로 향하는 선박의 회두 타성(惰性)을 잡지 못하고 사고로 이어질 개연성이 있다. 그러한 위험으로부터 겨우 사고를 회피한 선박의 선장이나 도선사가 VHF의 관제 채널에서 소형선박을 향하여 지르는 고함소리나 도선을 마친 후에 그러한 사정이 발생하였다는 후문을 듣지만 대형선의 둔중한 조종성을 알지 못하는 소형항내 운항선박이나 함정들이 불시에 대형선박의 선수를 횡단하는 일들은 좀처럼 해결이 어려운 안전위해 사항이다. 우선 직면하는 소형선박과의 위험을 먼저 피해야 하지만 교량의 붕괴가 재앙급 피해의 가능성이 있는 만큼 불가피하다면 교량과의 충돌을 피하기 위하여 소형선박과의 충돌을 감수할 수도 있을 것이다.



제2장 해상교량과 항로의 적정성

교량과 선박의 충돌예방을 위해서는 항로의 환경여건과 교량의 제원이 해당 선박의 통항에 적합한지를 판단하고 미흡한 경우는 충돌예방을 위한 조종성의 확보와 관제방안 등 대응방안을 마련하여야 한다.

2.1 항로의 환경여건 연구

항로의 합리성과 적정성을 판단하고 적절한 기준에 미달하는 경우 일방통행이나 예선의 동행 및 관계수칙의 개선 등 안전대책을 마련하여야 한다. 항로의 합리성과 적정성은 통항하는 선박의 크기와 교통량을 감안하여 판단하여야 한다. 또한 기존의 물리적 적정 항로 폭은 완만한 경사를 가진 자연수로의 항로와 직립구조의 부두나 교각사이에 형성된 인공수로의 항로로 구분하여 생각하여야 하며 항로 굴곡부의 구부러진 정도와 두 항로의 분기 접합점이나 횡단 항로의 존재 등을 고려하여야 한다.

2.1.1. 해상교통 공학적 환경여건

통항 선박의 크기, 항로의 길이 및 예상교통량에 대응하는 적정 항로 폭을 확보할 수 있는 교각의 폭, 만일의 충돌로부터 교각을 보호하는 충돌 방지공 등은 하드웨어로 분류할 수 있으며 이러한 분야는 연구가 많이 되었고 항로의 폭에 관한 연구도 다양하다.



Fig. 3 교량 하부 통항 장면

선박의 조종 안전을 연구하기 위해서는 조선자의 심리적 영향을 포함하여 교량의 통항에 영향을 줄 수 있는 유체역학적 범위를 비교 점검하고 그 개념을 정립하는 것이 필요하다. Fig. 3은 조선자가 교량 하부를 통항시 교량을 보는 사진이다. 동일한 선박이라도 외부에서 보는 것과 선박의 선교(Bridge)에서 보는 교량의 통항은 심리적으로 큰 차이를 가지며 심리적 안전거리에 이러한 사항이 반영되어야 한다.

또한 교량의 해상교통공학적 환경연구가 병행되어야 하는 바, 선박의 조종에 영향을 줄 수 있는 교량 전후의 항로 형태와 직선항로의 범위, 교각의 시인성과 선박의 항행보조를 위한 표지와 등화의 타당성 및 안전한 통항관리를 위한 관제의 연구를 포함하여야 한다.

2.1.2. 항로의 길이

항로는 길이와 혼잡도에 따라 항로의 폭이 달라져야 한다. 따라서 항로 폭은 항로의 길이와 항해시간에 따라 다음과 같이 구분할 수 있다.

① 선박의 통항속도를 전속까지 증가할 필요가 없는 4~5 마일 이내의 짧은 항로 : 군이 추월이 필요 없으므로 출입항 2차선 항로도 해상교통 혼잡도는 크게 증가하지 않음

② 30분 이상 항해시간의 5마일 이상 항로 : 왕복 2차선 항로 + 추월 가능한 1차선 항로

③ 출입항 선박이 많은 한 시간 이상 항해거리의 10마일 이상 긴 항로 : 왕복 2차선 항로 + 출입항 각각의 추월항로 (4차선 항로)

이러한 일반적인 기준에 미달하는 경우는 선박이 집중되지 않도록 적절한 관제와 시간대별 집중의 분산 등 통제가 필요하다. 예부선 등 극저속 선박이 함부로 항로의 중앙 부근을 점유하고 있으면 이를 추월하지 못하여 모든 후속 선박이 극저속으로 예부선의 뒤를 따르는 경우 항로의 혼잡도가 급격하게 증가하고 항만의 운영효율이 저하되기 때문이다.

또 다른 안전상의 이유는 소형선박이나 예부선은 4~5노트의 저속에서도 조종성이 확보되지만 거대형 선박은 6~7노트 미만의 저속에서는 조종성을 확보하기 어렵고 횡조류 등 외력이 존재하는 항로는 횡압류(橫壓流)가 커져서 항행시 보정 편각(偏角)이 커지므로 출입항 선박간의 항법자세가 횡단에 가까워지는 등 어려움과 위험이 발생하기 때문이다.

2.1.3. 혼잡도(교통량)

차량은 운행중 서행도 가능하고 브레이크를 밟아 멈출 수도 있으나 일정 이상의 속력을 유지하지 못하면 양력을 잃고 추락하는 비행기처럼 선박은 일정 이상의 속력을 유지하지 못하면 타효(舵效)를 잃고 조종성이 상실된다. 조류와 바람에 떠밀리는 선박은 계류나 정박하지 않는 한 일정 방향을 유지하며 한 자리에 멈추어 설 수 없다. 따라서 선박은 일정 이상의 선속을 유지하며 이동을 계속하여야 조종성이 확보되며 조종성이 확보되는 선속은 선박의 크기에 따라 달라진다. 교통량이 극히 적다면 일방통행이나 시차통행만으로 출입항 선박이 항로를 이용할 수 있으나 항로를 동시간대 이용하는 선박이 많아지면 그만큼 항로는 넓어져야 하며 조종성을 확보할 수 있는 선속은 선박의 특성과 상태에 따라 달라지므로 추월항로의 확보는 필수적이다.

2.1.4. 항로의 폭과 선형(線型)

항로의 폭과 선형은 통항하는 최대 선박의 크기와 교통량에 대응할 수 있어야 한다. 항로의 선형은 가급적 직선항로의 길이를 길게 하여야 하며 대형선박의 항로일수록 굴곡부가 적고 굴곡부의 각은 15도 이내로 하여야 한다. 굴곡부의 각이 15도 이상인 경우 굴곡부의 안쪽 삼각형 부분을 항로로 확장하여 선박이 변침을 두 번 이상 나누어 하도록 하거나 굴곡부 각의 크기에 비례³⁾하여 항로의 폭을 넓혀야 한다.

Fig. 4와 같이 확폭 대신 굴곡부의 안쪽 삼각형 부분을 항로로 하는 경우 삼각형의 넓은 변이 이용 최대 선박 길이의 4배 이상이 필요하다. 선박이 통상 타각으로 상당한 각도의 변침을 할 때 변침과 정침에 소요되는 거리가 4L 정도이기 때문이다. GM이 작은 선박이나 타압(舵壓)이 큰 Becker rudder와 Shilling rudder를 장착한 선박이 12노트의 통상 속도로 한꺼번에 15도 이상의 대각도 변침을 하는 경우 횡경사가 커서 불안하고 안전한 변침이나 선박간 피항 동작이 쉽지 않으며 심한 경우 선박의 전복 사고 위험이 있다.

3) 15도를 초과하는 굴곡부 각의 2배 정도를 확폭(擴幅)%로 하는 정도의 확폭이 필요하다. 예컨대 20도 굴곡부일 경우 10%의 확폭, 30도 굴곡부일 경우 30%의 확폭이 필요하다.

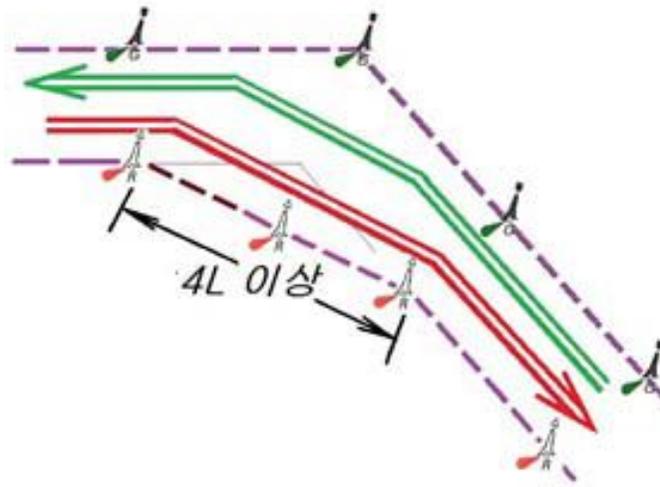


Fig. 4 항로의 굴곡부

2.1.5. 인공수로의 물리적 적정 항로 폭

물리적 횡방향 안전거리 ; $(7B+5.2B+5.2B+@)/3 = 5.8B = 0.83L$

일방통항을 위한 물리적 항로 폭 ; $2 \times 0.83L + B + @$

양방향 통항을 위한 물리적 항로 폭 ; $3 \times 0.83L + 2B + @$

부두나 교각 등 항로의 가장자리가 직립 벽으로 구성된 인공수로 항로는 선체의 양쪽에 물리적 횡방향 안전거리를 확보하여야 하므로 편도항로의 폭은 $2 \times 0.83L + B + @$ 로 표시할 수가 있으며 양방향 항로 폭은 두 선박간의 중복되는 안전거리를 $0.83L$ 로 하여 $3 \times 0.83L + 2B + @$ 로 표시할 수가 있다. @는 부두에 접안하는 선박의 폭 또는 대각도 굴곡부에서 고려하여야 할 추가의 항로 폭이다. 다만 이러한 항로 폭의 기준은 일정한 위험부담을 경감하기 위하여 감속이나 강행적 관제를 전제로 통행이 가능한 “물리적 최소 폭”으로 이해하여야 한다.

2.1.6. 선체의 길이와 시각적 길이

선박의 조종성에 관한 표시는 주로 선체의 길이와 폭 및 흘수에 대비하여 표시한다. 천수영향이나 선저여유수심은 흘수에 대비하여 표시하고, 측벽의 영향과 접안시 부두 접근속도는 선평에 대비하여 그 영향력과 기준을 정하고 있으며, 선회성이나 적정 항로 폭 및 항과하는 다른 선박과의 이격거리는 선체의 길이에 대비하여 영향력을 구분하고 표시한다. 다만 유체역학적 영향력(유체역학적력, 유체력)을 바탕으로 선평에 대비하여 연구한 적정 항로 폭은 선체의 길이 대비로 환산하여 표시하여야 이용자가 이를 실무에 적용하는 것이 가능하다.

이중에서 선체의 길이는 실제 길이(LOA)와 선체의 시각적 길이(선미 선교 선박에 한함, 약 0.83 LOA)로 구분하여 생각할 수 있다. 선박을 조종할 때 운항자가 선교에서 실시간 연속적으로 보면서 비교할 수 있는 선체의 길이는 선체의 시각적 길이이다. 예컨대 선회가능한 수역의 판단, 위험물이나 다른 선박과의 안전한 항과 거리 등의 기준을 선박의 시각적 길이에 대비하고 실시간 직감적으로 비교하면서 조종하면 자연스럽게 판단이 편리하다. 조종하는 사람의 눈에 보이지 않는 선교 뒤편 선미까지 포함하는 LOA를 기준으로 선회가 가능한 수역이나 항과하는 선박의 피항거리를 정하는 것은 실무적용이 어렵다는 점에서 불합리하다.

선미 선교 선박에서 선수로부터 선교까지의 시각적 길이는 평균 0.83L 정도이며 이를 선체의 “시각 길이”라고 한다. 부두 전면에서 180도 선회 접안시에 여유수역이 적당할 것인지 등을 판단하는 기준이 되는 것은 선체의 시각 길이이다.

조종성에 관한 기준을 선평에 대비하여 표시하는 것은 부두 접·이안시에 횡이동 속력이 거의 유일하다. 부두와 방충제의 내구성은 선박이 부두와 평행으로 0.3노트(15cm/sec) 이내의 접촉 속도에서 안전하도록 설계하고 건설된다. 다만 거대형 위험물 운반선의 경우 실행상 부두로부터 3B

떨어진 거리에 평행으로 멈추어 선 다음 3B 거리에서 0.3노트(15cm/sec) 이내, 2B에서 0.2(10cm/sec)노트 이내, B에서 0.1노트(5cm/sec) 이내로 횡이동하는 것을 기준으로 조종하여 추가의 안전여유를 갖도록 요구하고 있으나 강제 사항이라기보다는 추천사항이다. 조종을 하는 사람이 시각적으로 비교가 가능한 거리는 B~3B 정도이며 4B 이상이 되면 직감적으로 비교가 어려워 의미가 없으므로 이를 선체의 시각적 길이(0.83L)로 환산하여 표시하여야 현장실무에서 적용이 가능하다.

따라서 항로의 폭은 선평에 대비하여 표시하는 것보다 선체의 길이 또는 선체의 시각 길이(0.83L)에 대비하여 표시하는 것이 합리적이다. 적정 항로 폭에 미달하는 경우 선박의 일시적 집중을 방지하기 위한 관제규정이나 일방통행 등 강행 법규정을 마련하여야 한다. 이용자의 저항감을 줄이며 사고 발생시 원인을 분석하고 책임을 부과하기 위해서는 적절한 규정을 마련하여야 한다. 특히 통항기준을 초과하는 선박이 교량 등 위험한 지역을 출입하기 위해서는 선미의 감속예선을 사용하여 선속의 증가를 억제하며 프로펠러 가속수류에 의하여 조종성을 개선하는 등의 특별한 조치를 하여야 한다. 교량부근에서 무조건 저속이 안전하다는 생각으로 단순히 기관을 정지하도록 요구하는 것은 프로펠러의 가속수류에 의한 타효를 감소시켜 조종성이 크게 나빠지는 위험천만한 발상이다. 조종성을 확보하는 범위에서 선속을 줄이는 방안이 마련되어야 한다.

2.1.7. 교량부근 항로의 적정성

교량의 안전한 통항에 영향을 줄 수 있는 교량부근의 항로 적정성은 별도의 연구가 필요하다. 기본적으로 항로는 길이와 통항하는 선박의 교통량에 대응하는 폭과 수심 및 항로의 선형이 적당해야 하지만 선박의 변침과 정침에 필요한 최소한의 직선부를 확보하고 변침시에 선박의 과대한 횡경사로 인한 제한이 발생하지 않는 정도의 굴곡부로 제한하여야 하며, 특히 교량부근의 항로는 선박간 유체력 및 선박과 교각 측벽의 유체력으

로 인하여 선박의 조종에 장애가 없는 적정 폭과 수심뿐만 아니라 이용자가 심리적 중압감으로 인하여 인위적인 실수가 증가하지 않을 정도의 폭과 선형을 확보하여야 한다.

2.1.8. 교각사이 항로의 적정성

교각사이의 항로 폭은 유체역학적으로 통항선박과의 간섭이 없어야 할 뿐만 아니라 선박을 조종하는 사람이 심리적 중압감 없이 통항을 할 수 있는 적정한 폭을 가져야 한다. 선박의 조종을 하는 사람이 심리적으로 중압감을 가지면 인위적인 실수(Human Error)가 증가하는 원인이 될 수 있기 때문이다.



2.2 환경여건에 따른 항로의 적정성

항로 폭은 다음과 같은 항로의 주변 구조물의 요소에 따라 달라져야 한다. 환경여건에 따라 선박이 항행하는 동안 배제하는 수류에 의한 유체 영향력과 조종하는 사람의 심리적인 중압감이 서로 달라지기 때문이다.

2.2.1 직립 구조의 인공수로 항로 폭과 심리적 적정 항로 폭

적정 항로 폭이라 함은 선박과 교각간의 유체 역학력이 발생하지 않는 것을 전제로 하여야 한다. Araki(荒木) 선장의 발표에 의하면 흡인 작용이 발생하지 않는 양 선박간의 거리는 $(2l+L) \times 0.35$ 이다.

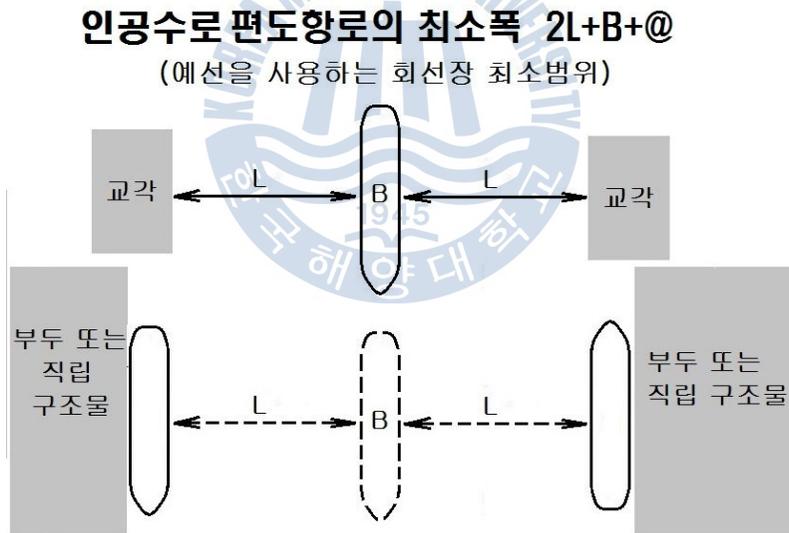


Fig. 5 인공수로 편도항로 최소 폭

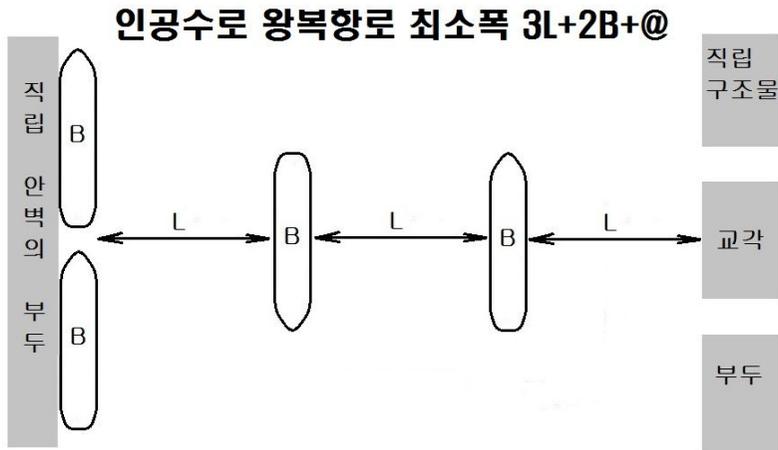


Fig. 6 인공수로 왕복향로 최소 폭

즉, $l=L$ 이면 L 정도(한 선박의 수선간장 범위)에서 흡인 배척 작용이 발생하기 시작한다. 따라서 직립 구조의 양쪽 교각이나 부두도 멈추어 속력이 없는 하나의 선박으로 간주하면 유체 력(유체역학적력)을 피하기 위한 두 교각사이의 편도 및 왕복향로 최소 폭은 Fig. 5, Fig 6과 같으며 다음과 같이 표현할 수 있다.

편도향로 폭 ; $2L+B+@$

왕복향로 폭 ; $3L+2B+@$

여기서, @는 수로의 측벽 부두에 접안한 선박의 폭 또는 교각의 충돌방지공이 없는 경우 유체력이 큰 범위 이내의 통항 금지구역, 굴곡부의 각이 15도 이상이거나 횡조류 존재로 확폭이 필요한 구간 및 상당한 교차각을 가지고 상습적으로 부는 탁월풍이 있을 때 감안할 추가의 폭이다.

유체 역학적력(유체력)의 범위와 심리적 안전거리를 고려하여 항로는 DWT 5만톤급(L275m B32m) 선박이 출입하는 (교각이나 부두사이) 인공수로의 적정 폭은 편도향로 $582m+@$, 왕복향로 $889m+@$ 정도이며 20만톤 케이프급(L300m B50m)의 적정 폭은 편도향로 $650m+@$, 왕복향로 $1000m+@$ 이다. 교각사이의 항로 폭이 적정 폭보다 좁고 충돌방지공이 없

는 경우는 왕복항로의 경우 일방통행을 하거나 편도 항로의 경우 예선의 동행 또는 정선미의 감속예선을 사용하는 등 안전대책이 필요하다.

Table 3 항로의 합리적인 폭

구분	자연수로 항로 (5만 DWT~20만 DWT)	인공수로 항로 (5만 DWT~20만 DWT)	비고
길이가 짧은 편도 항로의 폭	2x0.83L+B+@ (488m+@~548m+@)	2L+B+@ (582m+@~650m+@)	물리적 횡방향 안전거리 적용
길이가 짧은 왕복 항로의 폭	2L+2B+@ (614m+@~700m+@)	3L+2B+@ (889m+@~1000m+@)	
5마일 이상 긴 왕복 항로의 폭	3L+3B+@ (921m+@~1050m+@)	-	교통량이 많은 경우 4L+4B+@(1228m+@~1339m+@)
5만 DWT급 L275m B32m, 20만 DWT급 L300m B50m, @는 수로의 측벽 부두에 접안한 선박의 폭 또는 교각의 유체력이 큰 범위 이내의 통항 금지구역 B×2, 항로 굴곡부의 각이 15도 이상이거나 항로를 횡단하는 횡조류 존재로 항로의 확폭이 필요한 구간			

수직 구조를 가진 교각과 부두를 경계로 하는 인공수로와 달리 완만한 해저 경사면에 등부표를 경계로 하여 항로의 경계선을 안내하는 자연수로나 항로의 가장자리가 완만한 준설수로는 측벽의 영향이 직립구조의 부두나 교각보다 적으며 항로의 양쪽 경계선으로부터 각각 L/2~0.83L 이상이면 유체 역학적 안전거리와 심리적 안전거리를 확보할 수 있으므로 항로의 최소 폭을 결정할 때 고려하여야 한다. 예컨대 L/2은 항로의 최소 폭으로, 0.83L은 심리적 안전거리를 고려한 항로의 적정 폭(합리적인 폭)으로 구별함이 현장의 실무에 합당하며 저자의 경험과 주장에 의하면 Table 3과 같은 항로 폭을 정리할 수 있다. 교통량이 많은 10마일 이상의 긴 항

로는 양방향 각각의 추월항로가 필요하므로 $4L+4B+@$ (1228m+@~1339m+@, Cape 급을 포함하는 4차선 항로는 2척의 Cape급과 2척의 Panamax급이 동시 통항하는 경우를 피크로 상정함)의 항로 폭이 합리적이다.

2.2.2. 완만한 경사의 자연수로 항로 폭

항로의 경계선 밖으로 완만한 해저 경사면을 가진 자연수로인가 급경사면을 경계로 하는 인공수로인가에 따라서 유체역학적인 안전거리와 심리적 안전거리가 달라진다.

예컨대 항로의 경계선이 등부표로 표시된 완만한 경사의 자연수로는 항로의 경계선으로부터 선박까지의 이격거리가 $L/2 \sim 0.83L$ 정도이면 유체역학력을 배제하고 항해자의 심리적 안전거리를 확보할 수 있으나 부두나 교각과 같은 직립 구조물이 항로의 경계선이라면 최소한 선체의 시각적 길이(L') 또는 통상적으로 선체길이(L) 정도의 이격거리를 가져야 유체 역학력을 배제하고 소형선의 횡단과 같은 돌발 상황에 대처하는 항해자의 심리적 안전을 확보할 수 있다. 여러 사람들이 주장하는 물리적 영향력이 발생하는 거리와 경험 많은 도선사들이 실무에서 관습적으로 이격하는 심리적 안전거리는 동일한 것을 알 수 있으며 아래와 같이 정리할 수 있다.

편도항로의 적정 폭 ; $2 \times 0.83L + B + @$

왕복항로의 최소 폭 ; $2L + 2B + @$

길이가 긴 왕복항로의 적정 폭 ; $3L + 3B + @$

지난 수년간 여러 가지 종류의 선박 2000여척의 도선을 하며 항로 가장 자리의 다양한 근접통항을 시험한 결과 자연수로에서 등부표와 같은 항로 경계에 설치된 표지를 지날 때나 다른 선박과 항과를 할 때 도선사 스스로 심리적으로 부담이 적고 이를 지켜보는 선장이 긴장하지 않는 이격거

리는 $L/2 \sim 0.83L$ 이상이었으며 그러한 이격거리를 두고 통항을 할 때는 유체 역학력으로 나타나는 불편(대형선박의 정침을 위한 조타각 증대, 선속저하, 선회경 증대 및 압류보정을 위한 잦은 변침)을 느끼지 못하였다.

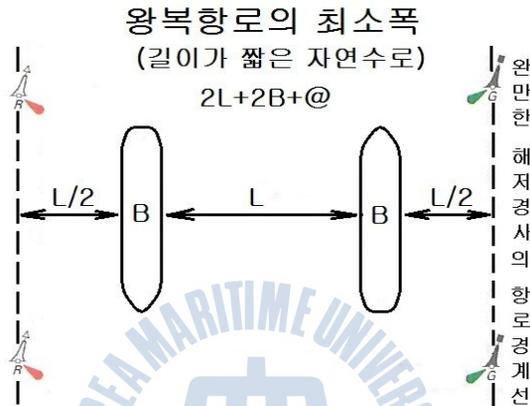


Fig. 7 짧은 자연수로 왕복항로 최소 폭
(저자의 경험과 주장)

2.2.3. 통항량이 많은 완만한 경사의 긴 자연수로 항로 폭

선박의 통항량이 많고 30분 이상의 항주거리를 가지는 긴 항로는 중앙의 추월항로 1차선을 포함하여야 한다. 추월항로를 확보하지 못하면 저속선박이 있을 때 이를 추월하지 못하는 다른 선박들의 조종이 어렵거나 위험해지며 단위시간당 항로의 소통량이 줄어서 항로 혼잡도가 급격히 증가한다. 특히 극저속의 예부선이 긴 항로상을 항행중일 때 뒤따르는 대형선박들의 항행위험은 크게 증가한다. 예부선은 3~4노트의 저속이 많으며 대형선박이 조종성을 확보하기 위해서는 적어도 6~7노트 이상의 속력이 필요하기 때문이다. 따라서 Fig. 8과 같이 긴 자연수로에서 왕복항로의 최소 폭과 교통량이 많은 경우 합리적인 폭은 다음과 같이 정리할 수 있다.

통항량이 많은 긴 항로 최소폭 ; $3L+3B+@$

교통량이 많은 긴 항로의 합리적인 폭 ; $4L+4B+@$

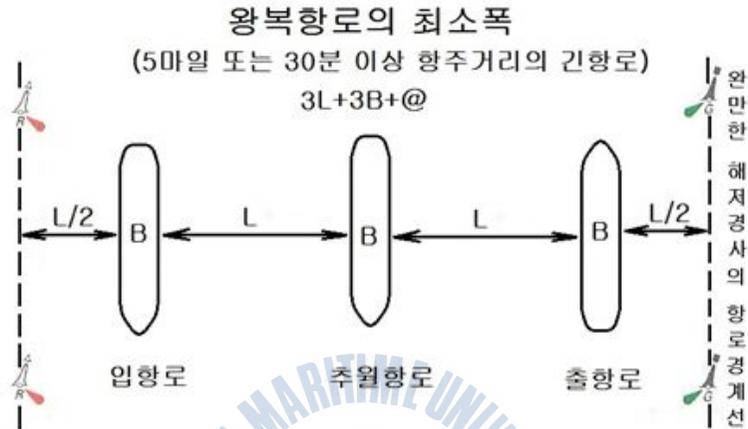


Fig. 8 긴 자연수로 왕복항로의 최소 폭 (저자의 경험과 주장)

2.2.4. 항로와 부두의 수심

부두 계획수심을 기준으로 항로의 계획수심을 결정하여야 한다. 항로의 계획수심은 부두의 계획수심보다 적어도 20~30% 더 깊은 것이 이상적이다. 즉, 항로의 수심은 수류의 굴곡부 외측 공격사면에 있는 부두나 돌핀 부두보다는 20% 이상의 수심이 필요하며 수류의 굴곡부 내측 퇴적사면이나 수류와 부두가 평행한 항로 또는 정온사면의 부두보다는 30% 이상 깊은 수심이 필요하다. 그 이유는 아래와 같다.

① 수류의 속도가 빠른 항로 중심은 퇴적과 세굴의 평형이 유지되지만 수류의 속도가 느린 부두 직하에서는 퇴적이 우세하다. 부두 수심과 항로 수심이 같으면 수류의 속도가 느린 부두는 잦은 퇴적으로 인하여 부두사용에 제한을 받는다. 부두 직하의 잦은 퇴적을 예방하고 부두를 안정적으로

로 사용하기 위하여 항로의 수심은 부두보다 더 깊어야 한다.

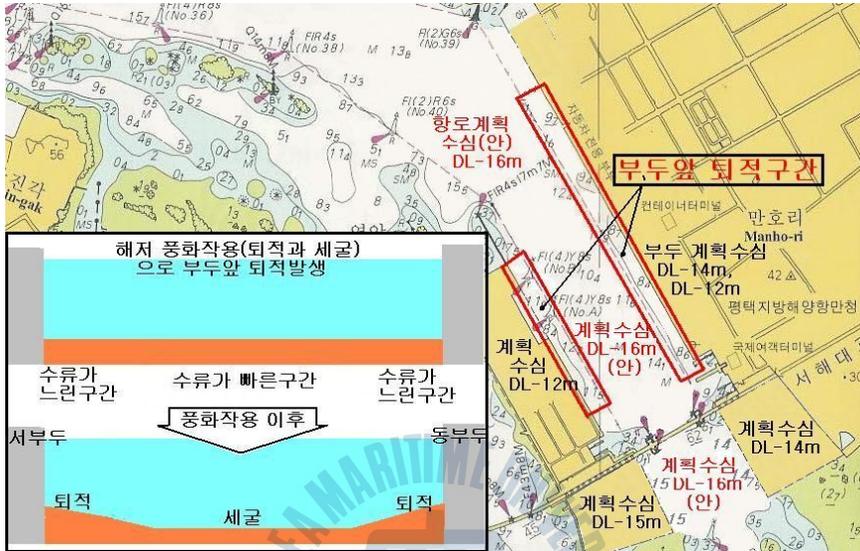


Fig. 9 부두 직하와 항로 중앙부 구간의 해저 풍화 작용
 <평택항 동서부두 사이 항로의 10년간 퇴적과 준설 관찰>

② 선박이 멈추어 계류하는 부두와 달리 항로는 대형 선박이 이동 중에 선체침하가 발생하므로 부두보다 더 깊은 조종여유수심을 확보하여야 한다. 또한 항로는 퇴적으로 인하여 수심의 제한을 받을 경우 준설을 할 때까지 수심 제한 선박은 고조를 이용하는 등 대책을 마련할 수 있지만 부두는 퇴적으로 수심이 부족할 경우 심흡수 선박은 이용자체가 불가하다.

③ 부두는 준설을 하는 동안 사용제한을 받지만, 항로는 폭의 절반씩을 나누어 준설을 하는 등 준설기간에도 사용이 가능하다.

④ 부두와 항로 사이는 자연경사면을 유지하고, 항로만을 주기적으로 준설하여 수심을 유지하면 부두 수심은 별도의 준설이 없이도 수심이 유지되므로 부두의 사용 제한이 없어 효과적이다.

예컨대 항로의 수심과 부두 수심이 모두 12m이면 불과 1년 이내에 대

부분 부두의 안벽수심은 10m 정도로 퇴적되어 사용제한이 발생한다. 매6개월~1년마다 준설을 하여 수심을 유지하는 것도 현실적으로 불가능하다. 수류의 공격사면에 있는 부두의 수심이 12~14m이면 항로수심은 20%가 깊은 14~17m, 퇴적사면이나 정온사면에 있는 부두의 계획수심이 12~14m이면 항로의 계획수심은 30%가 깊은 15~18m로 하는 것이 합리적이며 시설의 유지 비용측면에서도 경제적이다.



제3장 선박의 조종운동 특성 및 안전운항

교량 통과과정에서 대형선박 조종의 특성 파악과 교량을 안전하게 통과하는 절차 및 예외적인 사정의 발생이나 비상시를 대비하는 긴급대피 선박조종술은 소프트웨어라고 할 수 있으며 하드웨어의 부족을 보완할 수 있어야 한다. 예컨대 교량의 통항전 안전절차, 교량 부근에서 선박의 조종운동 특성을 고려한 안전운항 유지방안, 예선의 지원효과 연구, 교량의 안전을 위한 관제기법과 안전을 위한 제반 규정⁴⁾의 효과적인 공시(公示), 불가피한 접촉과 충돌시 손실 감소대책 등이 그것이다.

3.1 선박조종운동에 미치는 유체력 특성

3.1.1. 수심 및 측벽의 영향

유체 속에서 이동하는 물체와 해저 또는 항로 측방향의 구조물간에 발생하는 유체력(간섭력)은 수평과 수직으로 방향만이 다를 뿐 본질적으로는 천수영향과 같다. 일반적으로 항행선박의 조종운동에 영향을 주는 수심의 범위는 다음과 같다.(여기서, h =수심, UKC =선저여유수심, d =흘수, v =선속, L =선체의 길이)

4) 교각 폭이 양방향 통항에 부족한 경우, 선박의 일방통행이나 예선의 동행을 항만 운영세칙에 규정하고 있더라도 그 사항을 해도에 직접 표시하지 않는 이상 이용자들이 모르는 경우가 많다. 특히 항내의 잠종선이나 소형 함정들이 항만운영세칙까지 숙지하고 운행을 하는 경우는 드물다. 안전 위해사항으로 발굴하고 홍보하는 경우에도 함정의 승조원이 바뀌면 그러한 사항이 전수되지 않는다. 예컨대 서해대교 아래 통항로는 일방통행이며 예선을 동행하고 통항하도록 세칙에 규정하고 있으나 이러한 세칙이 해도에 직접 공시되지 않아서 이를 알고 있는 이용자는 많지 않은 실정이다. 해양조사원을 설득하여 해도에 그러한 사항을 표시하여야 한다.

- Taylor의 실험식 : $h=10d \times v/\sqrt{L}$ (속장비)
- Baker의 주장 : 고속객선 9d~10d, 화물선 7d
- 木下박사의 주장 : $h=30d \times v/\sqrt{gL}$, 즉 Froude number의 30배에
흘수를 곱한 것
- Hooft의 주장은 다음의 두 가지로 구분된다.
 - 선속에 대한 영향 : 고속 10d, 저속 4d
 - 조종성에 대한 영향 : UKC가 2.5d에서 선회경이 10%증가하는
정도의 영향이 나타나고 1.5d에서 영향이 육감으로 느껴지며
1.25d에는 선회경이 2배로 증가하는 정도로 영향력이 증가한다.

이상은 모두 표시하는 방법이 서로 다르지만 그 내용은 다음과 같이 비슷함을 알 수 있다. 일반적으로, 항행선박의 흘수의 수심이 6배 이상에서는 심수로 보고, 흘수 대비 수심의 6배 이상에서는 천수영향이 사라지는 것으로 본다. 또한 이론적인 계산(선박조종운동 시뮬레이션 및 수조 실험)에서도 같은 결과가 나오고 있다. 한편, 수심이 흘수의 1.5배 이내, 즉 흘수 10m의 선박이 수심 15m 이내의 수역에서는 감속이나 선회권의 증가가 육감으로 느껴질 만큼 상당하다.

측벽으로 인하여 항행선박에 미치는 유체력 특성은 측벽 형상, 측벽과 선박간의 횡방향 및 종방향 거리, 수심 및 항행선박의 속도에 따라 급격하게 변하게 될 것이고, 흘수와 수심의 비에 대비하여 수직과 수평으로 그 방향이 다를 뿐 선체 주위의 압력 변화에 의한 유체력이므로 측벽과 선체 또한 이격 거리가 일반적으로 심수에서 저속으로 항행하는 경우라 하면, 이론적으로 대략 측벽과의 횡방향거리가 선체길이정도에서 미소한 영향이 나타나기 시작한다. 또한, 선폭의 1.5배, 즉 선폭 30m의 선박이 측벽과의 거리 45m 이내에서는 그 영향이 상당하며 그러한 범위의 위험한 근접통항을 피해야 하는 것으로 해석할 수 있다. 교량의 보호 목적에 비추어 적어도 교각으로부터

터 50m 거리 이상에 항로의 경계선을 설정하거나 교각으로부터 50m 이내는 통항 금지구역으로 설정해야 하는 이유이다.

3.2 선박조종운동에 미치는 기관, 프로펠러 및 타의 영향

선박의 기관이나 프로펠러 및 타와 같은 장비특성 요인 또는 선박을 조종하는 사람의 인위적 요인으로 선박과 교각의 충돌이 발생하거나 선박간의 충돌회피동작으로 인하여 간접충돌이 발생할 개연성과 그 대응방안을 검토한다.

3.2.1 기관의 종류 및 특성

선박의 기관은 내연기관(디젤)과 외연기관(터빈) 및 전기기관(모터)으로 구분되며 각각 그 사용특성에 차이가 있다. 또한 내연기관은 기관의 축과 프로펠러가 직렬로 연결되어 매번 구동시 압축 공기로써 시동을 하는 방식과 자동차처럼 기관은 계속 구동을 하면서 기어박스를 이용하여 변속이나 전·후진으로 변경하거나 프로펠러의 입각(立角)을 변경하여 선속의 조정과 전·후진을 변경하는 가변피치 방식(Cpp, Controllable pitch propeller, 可變피치 프로펠러)이 있다.

기어박스나 가변피치 프로펠러를 장착한 선박은 시동불량의 우려가 없는 데 반하여 대부분의 선박이 채용하고 있는 기관과 프로펠러의 직렬 연결방식은 매번 압축 공기로써 기관을 구동하므로 시동불량이 발생할 위험이 크다. 교량의 부근에서는 가급적 기관의 시동조작을 하지 않아야 한다. 미리서 감속을 하고 교량의 통항시에는 극저속 전진기관을 유지하여 기관의 시동불량을 예방하고 프로펠러의 가속수류에 의하여 개선되는 타효를 유지하여야 한다.

① 디젤기관과 터빈기관

가속이나 감속 및 기관의 역회전이 자유로운 디젤기관과는 달리 터빈기관은 증·감속 반응이 완만하고 기관의 정지 및 역회전까지 상당한 시간이 걸리는 것을 감안하여 기관을 사용하여야 한다. 디젤기관의 감각으로 터빈을 사용하면 그 반응이 느려서 어려움을 겪는다. 시동공기압이 불필요한 터빈기관은 시동불량의 우려는 없으나 증감속이 완만하고 냉각 콘덴서의 용량이 충분하지 못한 구식 터빈기관은 장시간 후진기관을 사용하면 터빈이 가열되어 제한을 받거나 전속후진의 사용이 의미가 없음을 고하여야 한다. 전진 쪽 보다 후진 쪽의 터빈 블레이드 숫자가 적기 때문이다.

② 기관과 프로펠러의 연결방식 (직렬연결 및 감속기를 통한 연결)

기관과 프로펠러의 연결방식에 따라 고장이나 시동불량의 개연성이 크게 달라진다. 기관은 정속운전을 하며 변속기(기어박스, 속칭 클러치 기관)⁵⁾를 통하여 프로펠러에 연결 또는 분리하거나 역회전을 하는 클러치 기관은 기관의 시동을 반복하지 않고 클러치와 기어만을 사용하므로 기관의 정지와 역회전이 자유롭고 시동불량 우려가 없는 반면 직렬연결 방식의 고정피치 프로펠러(Fpp, Fixed pitch propeller)는 매번 압축공기압으로 시동하므로 시동불량이 발생할 수 있으며 공기압 부족으로 시동이 불가할 수도 있다.

③ Dead slow speed가 빠른 경우

통상 중대형 선박의 극저속 기관이 4~5노트임에 반하여 변속기를 채용한 일부 소형 선박은 Dead slow speed가 6~8노트인 경우가 있다. 기관은 계속 구동을 한 채로 변속기를 사용하여 선속과 전후진 동작을 하므로 기

5) 주로 수천톤급 이하의 소형선박에서 채용한다. 대형선박은 큰 기관을 감당할 기어박스의 제작이 곤란하고 무거우므로 Ferry처럼 항해가 짧고 출입항이 잦은 경우 시동불량위험을 줄이고 조종성의 개선을 위하여 2개의 기관과 2개의 가변피치 프로펠러 및 2개의 Rudder를 채용하는 것이 일반적이다.

관시동을 많이 하는 경우에도 압축공기의 부족 등에 의한 시동불량의 우려가 없다. 4~5노트 이하의 저속이 필요한 경우 Dead slow ahead와 기관의 정지를 반복하여도 무방하다. 직선 침로상에서는 기관을 정지하여 감속을 하고, 변침시에는 기관을 구동하고 프로펠러의 가속수류를 이용하여 선박의 선회성능을 개선하는 것이 효과적이고 안전하다.

④ 기관고장과 사용상 주의사항

선박기관은 정비 불량이나 노후화 또는 사용상의 미숙으로 인하여 고장 또는 시동의 불량이 발생할 수 있다. 항행 위험물이나 교량 부근의 감속 과정에서 기관의 시동이 잦을 수 있으며, 사용상의 미숙이라 함은 시동 가능한 최소 공기압 ($12\sim 13\text{Kg/cm}^2$)에 대한 주의를 하지 않은 경우 등이다. 기관을 선교에서 원격 작동하는 경우 반드시 참조해야할 시동공기압 게이지가 없거나 고장인 상태 또는 공기압 보충이 따르지 못하는데도 불구하고 대책없이 시동을 반복하는 것은 위험을 자초하는 일이다.

3.2.2 프로펠러 및 타의 영향

CPP는 타를 지나는 수류의 정렬이 불량하여 타효가 나쁜 반면, 프로펠러와 물의 접촉 면적이 증가하여 감속이 빠르고 기관의 시동불량 위험이 없다. 따라서 CPP는 FPP보다 적어도 2배의 타각을 사용하여야 비슷한 타효가 있으며 큰 타각을 사용함에도 불구하고 타효가 부족하다고 느끼는 경우는 즉시 프로펠러의 피치를 증가하여 타효를 개선하여야 한다. 가속수류를 발생시키거나 증가하여 방향조정으로 위험을 피한 후에 다시 감속을 하는 것은 2차적인 조작이다.

① 프로펠러의 회전방향

긴급시 교량부근에서 후진기관을 사용할 때 우회전 고정 프로펠러는 선미의 좌편향으로 우선회하며 감속을 하고, 좌회전 프로펠러는 좌선회하며

감속을 한다. 또한 가변피치 프로펠러는 전진이던 후진이던 프로펠러의 회전과 반대방향으로 선수가 회두하며 감속을 한다. 선장과 도선사간 소통의 실수를 피하기 위하여 FPP인지 CPP인지를 묻는 것보다 후진기관을 사용하면 선수가 우회두 경향이 있는지 좌회두 경향이 있는지 묻는 것이 현실적이다. 중국선장에게는 “꾸-딩(固定) 프로펠러”인지 “꺼-비엔(可變) 프로펠러”인지 물으면서, 후진기관을 사용할 때 선수가 우회전하는지 좌회전 하는지 묻는 것도 효과적이다. 소통문제로 인하여 오히려 회두 방향이 반대로 전달되는 실수도 가끔 있으며 그 결과는 심각할 수가 있다.

② 고정피치와 가변피치 프로펠러

기관과 프로펠러가 직렬로 연결된 장비는 고정피치 프로펠러와 가변피치 프로펠러로 구분하여 그 사용방법을 달리 하여야 한다. 가변피치 프로펠러(Cpp)를 장착한 선박은 고정피치 프로펠러(Fpp)를 장착하고 매번 공기압으로 시동을 하는 선박에 비하여 시동불량이 발생할 개연성은 없는 반면 타효는 고정피치 프로펠러에 비해 크게 떨어진다. 고정피치 프로펠러의 기관정지에 해당하는 입각제로(피치각 제로)에서도 프로펠러는 정속으로 회전하며 타판(舵板, Rudder) 직전에서 수류의 정렬을 흐뜨리고 있으므로 타효는 극히 나빠진다. 즉 고정피치 프로펠러는 기관을 정지하고 감속중에도 4~5노트까지는 대타각을 사용하여 조종이 가능한 반면 가변피치 프로펠러는 러더 직전에서 계속 회전하는 프로펠러가 수류의 정렬을 흐뜨리므로 6~7노트의 선속에서도 타효(舵效)가 없을 수 있다. 즉 가변피치 프로펠러는 동일한 6~7노트 선속일지라도 가속수류가 가세되는 증속(增速)중이면 타효가 좋고 감속중에는 타효가 나쁘다.

③ 2軸 1舵 선박의 조종특성

타판에 프로펠러의 가속수류를 받을 수 없는 2축 1타 선박은 고정피치 프로펠러 선박이라도 최소한 6~7노트 이상의 선속에서만 조종성이 유지된다.

예선이나 Thruster의 효과가 있는 2~3노트 이하의 속력으로 감속하여 예선과 Thruster를 적극적으로 사용하며 통항하던지 6~7 노트 이상의 속력으로 통항 후에 감속할 것인지를 사전에 결정하여야 한다. 애매하게 4~5노트 속력으로 통항하면 타효도 없고 예선의 지원 효과도 25% 이하로 떨어져서 조종이 어렵고 사고우려가 크다.

3.2.3 불안정 회두 모멘트

후진기관을 사용할 때 통상의 측압작용과 반대로 회두가 나타나는 일이 있으며 그 원인은 다음 두 가지로 정리할 수 있다.

첫 번째는 예선의 저항으로 인하여 예선을 잡은 현측 방향으로 회두하는 현상이다.

두 번째는 상당한 각속도로 회두 중에 강한 후진기관을 사용하면 원래의 회두방향으로 계속 선회하며 감속하는 것이다.

4~5노트 정도의 속력인 가속수류가 본선보다 늦게 따라와서 본선의 속력이 4~5노트 이하로 더욱 감속이 되면 선회중인 선미의 회전방향 안쪽에 부딪히며 원래 방향으로 계속 선회하는 것이 그 원인이다. 따라서 교량통항 직전에서 대각도 회두를 하는 것을 피해야 한다. 즉 교량보다 적어도 4L 이전에 교량의 하부 통항로를 향하여 평행으로 정침을 하고 교량 통항 직전에는 대각도 변침이 없도록 하여야 한다.

Fig. 10은 불안전 모멘트의 배수류를 나타낸 것이다. 아래 왼쪽 그림은 뒤늦게 따라온 배수류가 이미 회전한 선체의 좌측을 미는 불안전 회두 모멘트이고, 오른쪽은 직진 중 또는 정지 상태에서 배수류가 선체의 오른쪽으로 빠져나가며 선체를 미는 정상 회두 모멘트이다.

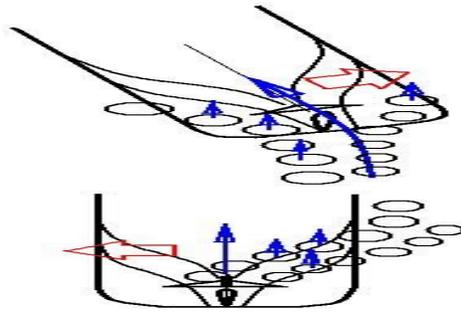


Fig. 10 불안전 모멘트의 배수류 (저자의 경험과 연구 및 실제 선박을 이용한 시험)

① 가속수류(Quick Water)

선박은 프로펠러를 회전시켜 물을 방사하며 프로펠러의 경사면에 작용하는 압력과 배수하는 물의 반작용으로 전진 또는 후진을 한다. 처음 움직이기 시작할 때는 프로펠러의 피치보다 적은 속력으로 시작하다가 점차 피치에 해당하는 일정 속력에 도달하면, 즉 선박의 타성(이러한 설명에서 惰性, 速力, 惰力, 慣性, 慣性力은 모두 같은 의미로 사용된다)이 일정 수준에 달하였을 때 선박은 유체속에서 자신의 이동타성에 의하여 이동을 계속하고 프로펠러의 추진력은 진행중인 선박에 발생하는 모든 저항(형상 저항, 수저항, 조파저항, 조와저항, 공기저항)을 제거하는데 사용된다고 구분할 수 있다. 그러한 속력이 달성되기 전까지의 가속중에는 선박의 속력보다 프로펠러가 밀어내는 물의 속력이 더 빠를 것이 분명하다. 선속보다 빠른 이러한 물을 Quick Water(가속수류)라고 하며 상선의 범위에서 일정 속력에 달한 경우 선속보다 4~5노트 정도 빠른 것이 보통이다.

일정속력에 달한 선박이 프로펠러의 뒤쪽을 보면 아직도 주변의 다른 물보다 4~5노트 정도 빠른 가속수류(Quick water)를 볼 수가 있다. 선체 주위에 발생하는 저항을 제거하고 있는 가속수류로 이해하면 편리하다. 미속이던 반속이던 일정속력에 달하면 가속수류의 속도가 거의 비슷한 것은 물의 유동성과 점성특성에 기인하는 것으로 보인다. 가속수류의 속도

와 선속을 비교하여 보면, 전진중인 선박이 후진기관을 사용할 때 배수류 측압작용이 발생하는 시점과 강해지는 시점, 또는 배수류 측압작용의 영향이 다시 소멸하고 선체가 직후진하는 메커니즘을 이해하기 쉽다.

② 배수류 측압작용 (排水流 側壓作用)에 의한 선체의 회두

배수류가 선미를 밀어서 나타나는 작용이므로 후진기관을 사용할 때만 발생한다. 후진기관을 사용하고 있는 중에도 선속이 후진기관의 배수류(Quick water)의 속력인 4~5노트보다 빠를 때에는 배수류가 선속을 따라 잡지 못하므로 측압작용의 영향은 거의 없고 프로펠러의 상하부 압력 차이에 의한 횡압력만 미세하게 작용한다. 이후 선속이 4~5노트 이내로 줄어들면서 (단추진기 우회전 스크류의 경우) 배수류가 선미의 우측 수선면(水線面) 하부를 밀어서 선미는 좌편향(左偏向)되고 그 반작용으로 선수가 원침로보다 90도~150도까지 우선회하며 선박이 멈추어 선다.

외력의 영향은 선체의 운동량에 반비례하므로 선박이 멈추어 운동량이 제로가 되는 순간 측압작용의 영향은 최대가 되고, 이후 후진속력이 붙으면 선체 운동량이 다시 증가하여 상대적으로 측압작용의 영향력은 적어진다.⁶⁾ 후진속력이 2~3노트 이상 증가하면 전심(轉心, Pivoting point)이 선체의 후방으로 이동하여 배수류가 측압작용을 하는 위치와 가까워져서 Leverage가 적어지고, 배수류는 선체의 앞쪽으로 흘러가며 예각으로 변하여 측압작용의 영향은 더욱 적어진다. 후진선속이 4~5노트를 초과하면 측압작용의 영향은 크게 적어져 선체는 거의 직후진하게 된다.

예컨대 7노트 이상 전진 중이던 선박에 후진기관을 걸고 배수류의 측압작용이 일어나는 과정을 살펴보면 다음과 같다. 처음에는 프로펠러에 의해 발생된 역전 가속수류(QW, Quick water)가 선속을 따라 잡지 못하고 뒤쳐져 측압작용은 발생하지 아니하며 이때 횡압력은 선체의 운동량(선체

6) 배수류가 선체를 미는 각 또한 선속 Zero에서 최대가 되며 후진 속력이 붙으면 배수류는 점차 선미보다 앞쪽을 예각으로 밀어서 그 작용력이 감소한다.

의 질량과 선속의 곱)이 크기 때문에 상대적으로 적은 횡압력은 외관상 나타나지 않다가 선속이 5노트 정도로 떨어질 때부터 미세하게 느낄 수는 있으나 선속이 4~5노트 전후에서 나타나기 시작하는 배수류의 측압작용이 너무 크기 때문에 구분할 수 없다. 선속을 따라 잡지 못하고 선미 후방에 처지던 QW는 선속이 4노트 정도로 떨어지면 타와 프로펠러 부근까지 따라와서 측압작용이 발생하기 시작하고 선체의 회두가 시작된다. 대형선의 경우 QW의 선단(先端)이 선미로부터 선수 쪽으로 1/4L 정도에 달하면 선속이 Zero가 되므로 선체 운동량도 Zero가 되며 가속수류가 본선의 선미를 미는 각은 최대가 된다. 선체의 전심(轉心, pivoting point, 물체의 회전중심)은 선속이 Zero일 때 선체의 중앙부에 있으며 QW 작용점까지의 거리는 선체가 후진을 하여 전심이 선미 쪽으로 이동한 경우보다 긴 때이므로 측압작용력이 최대가 된다.

선체의 속력 Zero 전후에서 선미 한곳에 머물러 측압작용을 왕성하게 일으키던 QW는 선체가 후진을 하기 시작하며 점차 선수 쪽으로 넓게 확산되어 측압작용은 선속을 따라 선수·미에 넓게 분산될 뿐만 아니라 선체의 후진에 따라 QW의 수류 또한 전후 방향으로 정렬되어 측압작용은 점차 약해진다. 후진속력이 커질수록 전심이 선미 쪽으로 이동되어 선미 쪽에 작용하는 측압작용점과 전심간의 거리가 짧아져서 "회두 모멘트 = 힘 x 전심으로부터 작용점까지의 거리"로 표시되는 회두 모멘트는 더욱 작아지게 된다.

선체의 후진속력이 가속수류와 비슷한 4~5노트정도가 되면 선체는 회두를 멈추고 직후진하는 경향으로 바뀌며 이때에는 측압작용의 영향보다는 오히려 바람에 의한 영향으로 선수가 풍하 쪽으로 떨어지거나 천수지역에서는 수심이 낮은 곳으로 선체가 쏠리는 Bottom smelling 현상이 오히려 더 커지게 된다.

③ 실속현상 (Stall)

급감속중에 발생하는 일종의 불안정 모멘트로서 선박의 속도가 회전중인 프로펠러 피치보다 클 때는 타효(舵效)를 상실하고 기존의 회두하던 방향으로 계속 선회를 하여 당황스러운 경우가 있다. 전진기관을 사용함에도 불구하고 선속이 프로펠러의 가속수류보다 빠르기 때문에 정렬된 수류를 Rudder로 보내지 못하고 오히려 타판의 직전에서 회두하는 프로펠러가 수류의 정렬을 흐트러서 타효가 상실되는 경우이다.

구체적으로는 회전하는 프로펠러의 피치보다 선속이 상당히 빠를 때, 즉 가속수류의 속도(4~5노트)보다 더 큰 차이가 있을 때는 타효가 없어지고 타각을 사용하는 방향과는 달리 선체가 기존의 선회하던 방향으로 계속 선회하는 실속현상이 나타난다. 예컨대 10~12노트의 전속으로 항진하던 선박이 4~5노트의 피치인 미속이나 극미속 기관으로 갑자기 감속하는 경우 회전하는 프로펠러가 본선에 끌려가는 형상이므로 가속수류를 발생시키지 못하고 타효가 상실되는 경우이다. 이러한 현상은 가변피치 프로펠러에서 더 쉽게 발생하며 가변피치 프로펠러는 고정피치의 극미속(Dead slow)이나 미속(Slow)에 해당하는 피치를 사용하고 있을 경우에도 감속중이라면 타효가 없거나 조종성이 나쁜 것이 보통이다. 즉 현재의 선속보다 적은 피치일 경우에는 기관(피치)을 사용하고 있음에도 불구하고 타판을 지나는 수류의 교란이 발생하여 실속현상(失速現象, Stall, Burbling)이 나타난다.

단계적 완만한 감속으로 이러한 일이 발생하지 않도록 하여야 하나, 만일 그러한 경우가 발생하더라도 선속이 좀 더 줄어들면 타효가 다시 나타나지만 자연감속은 상당한 시간과 거리가 소요되므로 기다릴 수는 없다. 일시적으로 기관의 회전수를 올려 타효를 회복하고 안전한 방향이나 원하는 방향으로 정침을 한 뒤에 다시 저속기관이나 후진기관을 사용하여 감속하여야 한다.

④ 급선회 중 후진기관의 사용시 발생하는 불안정 회두모멘트

우선회 일축선 선박이 전진 중 기관을 역회전하면 선박은 배수류 측압 작용과 프로펠러의 횡압력으로 인하여 우선회하며 정지한다. 이러한 선회를 불안정 모멘트와 대비하여 정상선회 또는 정상 모멘트로 부르기도 한다. 대형 심흘수 선박의 선저여유수심이 흘수의 10%~20%(0.1D~0.2D) 이하로 선저 여유수심이 적은 곳에서 강한 후진기관을 사용하면 180도 까지 회두하기도 한다. 선저를 지나서 선수 쪽으로 흘러가야 하는 배수류가 쉽게 빠져나가지 못하고 선측을 미는 물의 양이 많아지기 때문이다.

그러나 상당히 큰 각속도로 좌회두하던 선박이 큰 후진 기관을 걸면 점차 좌회두를 멈추고 우선회하며 감속하는 것이 아니라 기관을 걸기 전 선회하던 왼쪽 방향으로 계속 선회하는 불안정 회두 모멘트가 발생하는 경우가 있다. 측압작용과 횡압력의 영향대로 회두하는 것을 정상회두 모멘트라고 하면 측압작용과 관계없이 회두 중이던 방향으로 계속 선회하는 것을 불안정 회두모멘트라고 한다. 이러한 불안정 모멘트가 발생하는 원인을 파악하고 사전예측 할 수 있다면 그러한 조종의 장애를 방지하거나 역으로 선박조종에 효과적으로 이용할 수 있는 반면, 예기치 못했던 불안정 회두모멘트가 교량의 부근과 같이 협소하고 위험한 수역에서 발생하면 당황스럽고 조종을 어렵게 하며 때로는 교각과의 충돌사고로 이어지기까지 한다.

이와 같은 가속수류와 측압작용의 상관관계를 고려하여 불안정 회두모멘트가 발생하는 원인을 몇 가지 예로서 유추해 보면 다음과 같다. 선박이 묘박지에 접근하며 후진기관을 걸 때 심하게 우회두가 일어날 것으로 걱정하여 후진기관을 걸기 전에 선체를 좌회두 시키면서 후진기관을 걸면 뒤늦게 따라온 가속수류가 선미에 도달할 때쯤에 선미는 상당히 오른쪽으로 돌아 있으므로 뒤따라 온 가속수류는 선미 왼쪽을 오른쪽으로 밀게 되고 선미 우편향의 반작용으로 선체는 계속하여 좌회두하게 된다.

이후 선체의 좌회두가 심해질수록 선미는 더욱 오른쪽으로 급격히 돌면

서 거의 모든 배수류가 선미 왼쪽을 밀어서 선미의 우편향이 가속되는데 이것이 바로 불안정 회두 모멘트의 발생 원인이다. 이러한 불안정 회두 모멘트가 발생하는 것은 선박의 형상특성과 여유수심 및 역전기관의 회전수에 따라 달라지므로 불안정 모멘트가 발생하는 특정한 각 속도로 정의하기는 어려우나 중대형 선박에서 후진기관을 사용하기 전 원침로로 부터 10~20도 이상 급한 선회 중에 후진기관을 걸면 불안정 회두 모멘트가 발생하는 것을 경험할 수 있다.

⑤ 불안정 moment에 영향을 주는 요소

- 후진기관 초기 사용시의 좌회두 타력

후진기관을 사용할 당시의 회두 방향이 배수류 측압작용의 선회 방향과 반대 방향이었을 때 나타나며 후진기관을 사용하기 전 원침로로 부터 10~20도 이상 급히 회두하며 후진기관을 걸면 불안정 회두 모멘트가 발생하고 후진기관 사용전 초기 각 속도가 클수록 불안정 회두 모멘트에 의한 회두는 분명해진다.

○ 초기 선속

초기선속이 클수록 전진 타력을 억제하기 위해 큰 후진기관을 사용하므로 불안정 회두 모멘트가 커진다. 목적지(부두나 교량)의 0.5~1마일 이전의 넓고 안전한 수역에서 강한 후진기관으로 1차 감속을 하고 다시 전진기관과 타를 사용하여 선체의 자세를 조정하며 접근하는 것이 좋은 방법이다. 1차 후진에 의한 감속 또는 정지를 생략하고 자연감속에 의하여 한 방에 산뜻하게 접근하고자 하는 멋진 조종술은 종종 위험을 수반한다.

○ 선체의 크기와 길이

선체가 클수록 운동량이 커서 기동타력과 정지타력 또한 크므로 큰 후진기관이 필요하고 선체가 길수록 전심으로부터 배수류의 작용점까지 거리가 커지므로 회두 모멘트는 커진다.

○ 선저여유수심 (Under keel clearance)

UKC가 적을수록 선저를 빠져나가지 못한 배수류가 선미를 더 밀게 되므로 회두 모멘트가 커지며 UKC가 흘수(D, draft)의 1/2미만, 특히 0.1~0.2D에서는 측압작용이나 불안정 회두 모멘트에 의하여 180° 회두가 가능할 만큼 큰 때도 있다.

⑥ 불안정 회두 모멘트에 대한 안전대책

불안정 회두 모멘트에 대한 안전 대책은, 항행 중에 정지하고자 하는 목표지점으로부터 여유 있는 위치 또는 0.5~1마일 전에서 큰 후진기관을 사용하여 일단 정지한 후 다시 전진기관과 타를 이용하여 선위와 자세를 조정하며 목표점에 접근하여 잔여타력은 작은 후진 기관으로서 잡는 것이 좋은 방법이다.

대형선이라고 할지라도 자연감속에 의해서만 목표점에 도달하는 것은 좋은 조종술이라고 하기 어렵다. 접근과정에서 저속일수록 커지는 외력의 영향과 나빠지는 조종성 때문에 어려움이 크고 심리적으로 지루하지만 후진기관에 의한 감속시에 불안정 모멘트를 유발할 만큼 과대한 속력은 제어하여야 한다. 그러나 너무 멀리서부터 과도하게 감속 접근을 하는 경우 외력에 의하여 틀어지는 자세를 조정하기 위해 정작 극히 감속해야할 목표지점 근처에서 오히려 타와 전진기관의 사용이 필요하게 되고 그 결과 선속이 증가할 수가 있음을 고려하여 적당한 속력을 유지하는 것이 중요하다.

3.3 선박조종운동의 일반적인 특성과 개선방안

3.3.1. 정지거리의 판단과 개선방안

선박을 조종하면서 해당선박의 선속별 정지거리가 어느 정도인지를 알

고 있는 것은 안전대책을 마련하기 위하여 대단히 중요한 문제이다. 기관만으로 정지를 할 것인지 예선을 보조할 것인지 또는 비상투묘를 하여 앵커의 주묘까지 이용하여야 가능한 심각한 사정인지를 판단하기 위함이다.

① 정지거리 계산

매 선박마다 정지거리를 계산해가며 조종을 할 수는 없으나, 대표선박들의 정지거리를 계산하여 케이블 단위로 환산하거나 그 선박 길이의 배수로 환산하여 기억하고 실무에서는 레이더로 비교하거나 선박의 길이에 대비하는 목적으로 정지거리를 짐작하는 것이 합리적이다.

- 전진 추력 (F) = $\frac{BHP}{V} \times 0.095(\text{ton})$, 단, V는 속력(Knot), BHP는 제동마력

- 동일 선박의 후진추력 (F') = T x 0.6 (ton)

- 동일 선박의 반속 후진 추력 (F'') = T x 0.6 x $(\frac{3}{4})^2$ (ton)

물리학에서 적용되는 공식을 원용하여 정지거리를 구하는 방법을 만들면 다음과 같다

$$2as = V^2 \quad \text{단, } s \text{는 거리(m), } V \text{는 속력 (m/sec)}$$

$$\text{가속도 } a = \text{후진력(ton)/배수량(ton)} \times 9.8 \text{ (m/sec}^2\text{)}$$

$$\therefore S = \frac{WV^2}{2gF} \quad \text{단, } V \text{는 初速 (m/sec), } W \text{는 排水量 (ton), } F \text{는 推力 (ton),}$$

$$g \text{는 重力가속도 } 9.8 \text{ (m/sec), } S \text{는 거리 (m)}$$

$$\therefore a = \frac{g}{W}f \quad \dots \text{ ①} \quad V = at \quad \dots \text{ ②} \quad S = \frac{1}{2} Vt \quad \dots \text{ ③}$$

위의 식을 정리하면, $t = \frac{WV}{gf}$, $S = \frac{WV^2}{2gf}$

이외에도 실제 선박실험을 통하여 후진 기관에 의한 정지거리 S(m)와 소요시간(t) 사이의 근사식으로서 다음과 같은 것이 있으며 그 결과는 물리식과 큰 차이가 없어 실용상 편리하다.

Knight 제독의 近似式

$S = 1/5Vt$ (m, sec, knot) 단, S = 정선까지의 진출거리

$V =$ 기관 반전시의 처음 선속

$t =$ 정선까지의 소요시간

위와 같은 방법으로 특정 선박의 후진기관에 의한 정지거리를 계산하면 다음과 같다.

GT 3000, 공선 배수량 2250 ton, 만선 배수량 7000 ton, 만선선속 10~12 knot, 공선 선속 12~14 knot

○ 전진 전속이 10~14노트인 선박의 후퇴력 ;

- 전속후진 (10) = $4000/10 \times 0.095 \times 0.6 = 22.8$ ton

- 전속후진 (12) = $4000/12 \times 0.095 \times 0.6 = 19.0$ ton

- 전속후진 (14) = $4000/14 \times 0.095 \times 0.6 = 16.2$ ton

* 일정속력으로 진행하는 선박은 관성에 의한 평행운동을 하므로 외력(저항)이 없으면 기관을 정지하여도 등속도 운동을 계속하며, 결과적으로 기관의 추력은 일정속도에서 저항(외력)을 제거하는데 사용된다. 동일한

마력에서 선속이 적다고 함은 그만큼 선형 등에 의한 저항이 크다는 것을 의미하며 추력 또한 커질 수밖에 없다는 것을 알 수 있다.

- 12노트(6.17m/sec) 선박의 공선 정지거리 ;

$$S = 0.0135 \times \frac{2250 \times 12^2}{19.0} = 230 \text{ (m)} = 0.124 \text{ (mile)}$$

- 14노트(7.20m/sec) 선박의 공선 정지거리 ;

$$S = 0.0135 \times \frac{2250 \times 14^2}{16.3} = 365 \text{ (m)} = 0.197 \text{ (mile)}$$

- 10노트(5.14 m/sec) 선박의 만선 정지거리 ;

$$S = 0.0135 \times \frac{7000 \times 10^2}{22.8} = 414 \text{ (m)} = 0.224 \text{ (mile)}$$

- 12노트(6.17m/sec) 선박의 만선 정지거리 ;

$$S = 0.0135 \times \frac{7000 \times 12^2}{19.0} = 716 \text{ (m)} = 0.387 \text{ (mile)}$$

* 다만 위의 계산은 기관이 실제로 역전된 순간으로부터 정지거리이므로 충돌예방조치는 기관의 역회전 전에 필요했던 조치의 시간동안 전진했던 거리가 기관의 특성별로 고려되어야 한다. 즉 충돌의 위험을 시인한 시각으로부터 전속 전진을 판단하고 명령을 내리기까지

기관의 정지 ⇒ 기관의 전속후진까지 걸린 시간의 기관종류별 고려가 필요하다. 예컨대 가변피치 프로펠러(Cpp)를 장착한 선박은 매우 짧은 시간 내에 후진이 가능하지만 고정 프로펠러(Fpp)를 장착한 선박은 Cpp에 비해 시간이 다소 더 소요된다.

② 정지거리의 판단과 개선방안

GT 4~5만톤(10만 DWT)급의 대형선박이 6~7노트 이상 조종성이 확보되는 선속에서 전속후진을 구령하여도 전속후진까지 걸리는 시간은 상당할 뿐만 아니라 기관실에서 소음과 진동이 심한 전속후진을 사용하는 것은 꺼리는 경우가 많다. 반속후진을 대상으로 정지거리를 계산하고 적용하는 것이 현실적이며 전속후진은 여유분으로 확보함이 합리적이다.

○ 일반적으로 최단정지거리는 반재상태에서 통상속력의 경우 3~5L 정도이지만 거대형 선박이 만재를 했을 경우는 15L 이상이 되는 경우도 있다. 예컨대 만재한 대형 유조선이 12노트 항해 중 전속후진을 걸었을 때 최단정지거리의 실측실험은 다음과 같다.

DWT 5만 톤급 (L=210m) ; 10L \approx 1.1 mile

DWT 10만 톤급 (L=250m) ; 13L \approx 1.8 mile

DWT 15만 톤급 (L=300m) ; 15L \approx 2.4 mile

○ 항내조종 속력에서 전속후진 발령 시에 Approach speed가 1노트 감소함에 따라 최단 정지거리는 약 1L정도 감소한다.

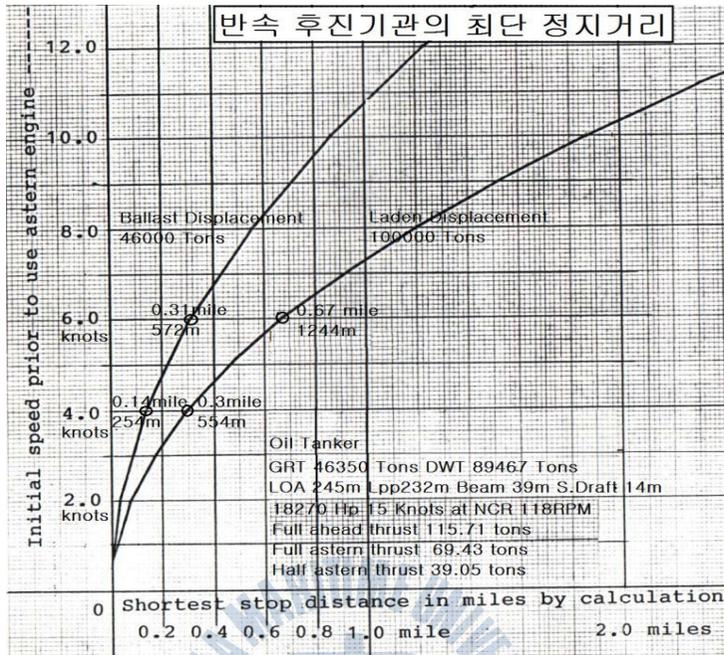


Fig. 11 10만 DWT 선박의 반속 후진기관 정지거리
<출처 ; M/T Hellepont Prosperity>

3.3.2. 조종성의 판단과 선회성 개선방안

선박이 위험을 피하기 위해서 회두 선회할 때 안전한 범위이내에서 선회를 할 것인가의 판단은 중요하다. 선회경이 적을수록 조종성이 좋다고 할 수 있으며, 타면적비 1/60인 통상선박의 전속에서의 선회경은 원침로 방향의 Advance가 3~4L, 원침로에 직각방향인 Tactical diameter (max transfer)가 4~5L이다.

① 조종성이 유지되는 전속의 의미

선박의 조종성이 유지된다고 함은 필요한 변침과 정침이 되는 상태를 말하며, 100여년 전의 오래된 미국해사법정의 판례에 의하면 전속이 6~7 노트일 때 타면적비가 1/30~60인 통상선박이 조종성을 가진다고 하였으

며, 현재에도 유효하게 원용되고 있다. 구체적으로는 기관을 사용할 때 발생하는 가속수류를 감안하여 여기서 6~7노트라고 함은, 타판을 지나는 수류의 속력으로 보는 것이 합리적일 것이다. 2~3노트의 저속에서도 전진기관을 사용하여 4~5노트의 가속수류를 발생시키면 타판을 지나는 수류의 속력은 6~8노트가 되어 조종성이 유지되기 때문이다. 다만 2축 1타선박의 경우 가속수류가 타판을 지나지 않으므로 가속수류를 고려하여서는 아니 되며, 가변피치 프로펠러의 경우 타판을 지나는 수류의 정렬이 부족하여 타효가 부족할 수 있음을 감안하여야 한다.

② 선회성의 개선방안

예선의 보조를 받으면 선회경을 통상의 절반이하로 줄일 수도 있으나, 본선의 속도에 따라 예선의 효과가 반감하므로 정량적인 선회경을 정하기는 곤란하다. 예컨대 선속 Zero에서 예선의 효과를 100으로 하면 2~3노트에서는 50, 4~5노트에서는 25, 5~6에서는 12 정도로 거의 효과가 없을 뿐만 아니라, 예선을 본선의 진행방향과 직각으로 세우면 전복위험이 따른다.

다만 5~6노트 이상의 선속에서도 선수예선은 본선의 진행방향과 30도 이내로 뒤쪽으로 당기고, 선미 예선은 45도 정도로 앞으로 밀면서 동행하면, 뒤로 당기는 선수예선의 저항으로 인하여 본선의 전심이 선수쪽으로 더욱 이동하고, 뒤에서 미는 선미예선이 본선의 선회편각을 더욱 키워서, 속력과 선회경은 현저히 줄어든다. 조종구간이 부족한 경우에 흔히 사용하는 방법이다.

Fig. 12는 저자가 연구하고 주장하는 전심의 이동원리이다. 물체의 외관상 회전중심을 전심이라고 하며, 물이나 공기와 같은 유체(流體)중에서 이동을 하는 배나 비행기의 전심은 선체 또는 기체의 중심이나 어느 일정 부분에 고정된 것이 아니고 이동을 하는 방향쪽으로 치우치는 특성이 있

으며, 조종을 할 때 이러한 전심의 위치를 파악하고 이용하는 것은 중요한 일이다.

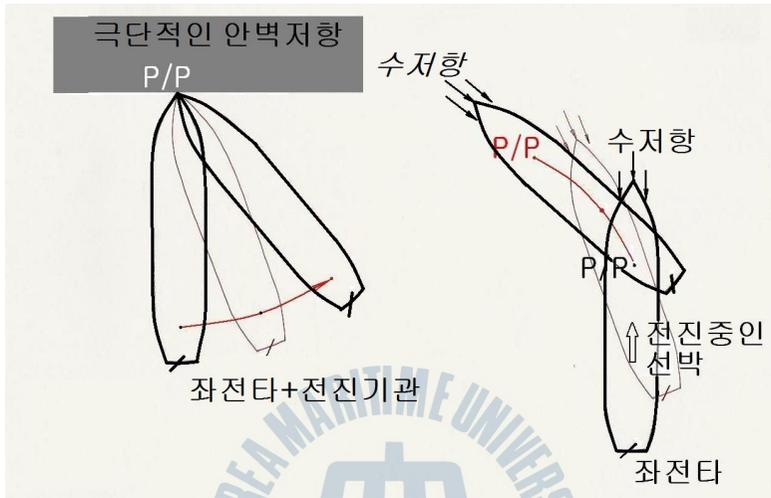


Fig. 12 저항과 전심의 이동원리

전심이 이동하는 원인은 물체의 이동에 대응하는 수저항 때문이며, 이동,중인 선체는 저항이 있는 쪽으로 전심이 쏠린다. 그림에 표시한 것처럼 안벽에 선수를 대고 밀면서 전진기관과 대타각을 이용하여 회두를 하는 경우와 같이 선수전면에 안벽과 같은 극단적인 저항이 있다면, 안벽과 선수 접촉부가 바로 전심이 되는 것을 생각하면 이해가 간단하다.

마찬가지로 Fig. 12의 오른쪽 그림과 같이, 전진중인 선박은 선수로부터 수저항을 받으므로 선회시의 전심은 선수 쪽으로 이동한다. 이러한 전심의 이동은 전타시에 선회편각에 의한 선미 킥-아웃(Kick out)의 원인이 될 뿐만 아니라, 회두 반대편 쪽 선수에 수저항을 유발하여 구심력을 형성하고, 그 결과 선회권을 줄이는데 기여를 하는 중요한 요소이다. 저항이 클수록 전심의 이동은 커지므로 선속이 빠를수록 전심이 많이 이동하며, 보통선박이 통상속 력으로 이동 중인 경우 선수로부터 선체길이 1/3 내

지 1/4 정도 위치까지 이동한다. 반대로 후진기관을 사용하면 전심은 선미 쪽으로 이동하므로, 전진 중에는 효과가 없던 선수의 쓰러스터(접·이안 보조장비, Thruster)가 효과를 발휘하여 회두가 가능해지거나, 직후진중에 정침(steady)이 가능해진다.

Fig. 13은 「평택·당진항 도선 안전기준에 명시된 “선회권 축소와 급감속” 및 “항로통제시간 최소화”를 위한 방안이다. 그림에서처럼 선회수역이 부족할 때 예선을 뒤로 당기는 인공저항으로써 전심을 선수쪽으로 이동시키며, 선미예선으로 밀어 선미편각을 키우면 선회권을 줄이는 효과 이외에도, 거대형 선박의 경우 선체 측면저항에 의한 급감속 효과가 후진기관보다 더 효과적이다.



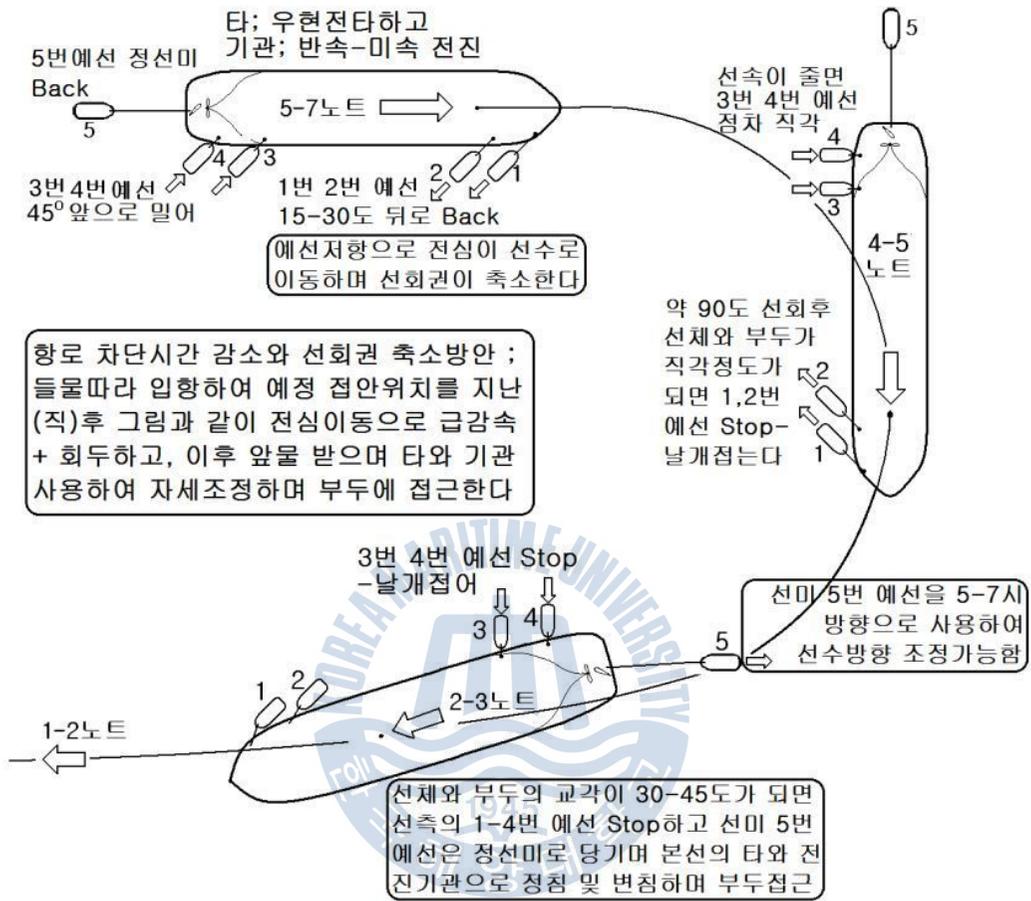


Fig. 13 전심 이동의 예
 <출처 ; 평택당진항 도선안전기준 2012>

여유수역이 부족하거나 좀 더 안정적으로 선회경을 줄이는 방법은, Fig. 14와 같이 대형선박의 기동타력이 큰 특성을 이용하기 위하여, 선속을 1~2노트 이내로 줄인 후 다시 대타각과 전진기관을 이용하여 선회함으로써, 선회권을 원래의 60% 정도로 줄이는 방법이다. 예선의 보조를 병행하면 더욱 효과적이다. 그림의 6~7노트 위치에서 강한 후진기관으로 선속을 2~3노트 이하로 감속한 후 (Zero 또는 약간의 후진까지 감속하면 선

회경의 축소효과는 더욱 크다) 다시 선회를 시작하는 방법과, 일단 선회를 시작하여 회두타력을 붙인 후에 3~4노트 위치에서 기관을 정지하고 강한 후진기관으로 선속을 줄인 후에 선회를 계속하는 방법 모두 효과적이다. 여유수역이 있고 기관의 작동에 문제가 없다면 시간을 단축할 수 있는 후자의 방법이 효과적이며, 여유수역 부족이 확실할 때는 기관의 시동불량이나 고장에 대비하여 5~7노트 이상의 원침로에서 강한 후진기관으로 감속을 먼저 하는 것이 안전한 방법이다.

VALE MAX 입항 접안시 향로 차단시간 감소와 선회권 축소방안

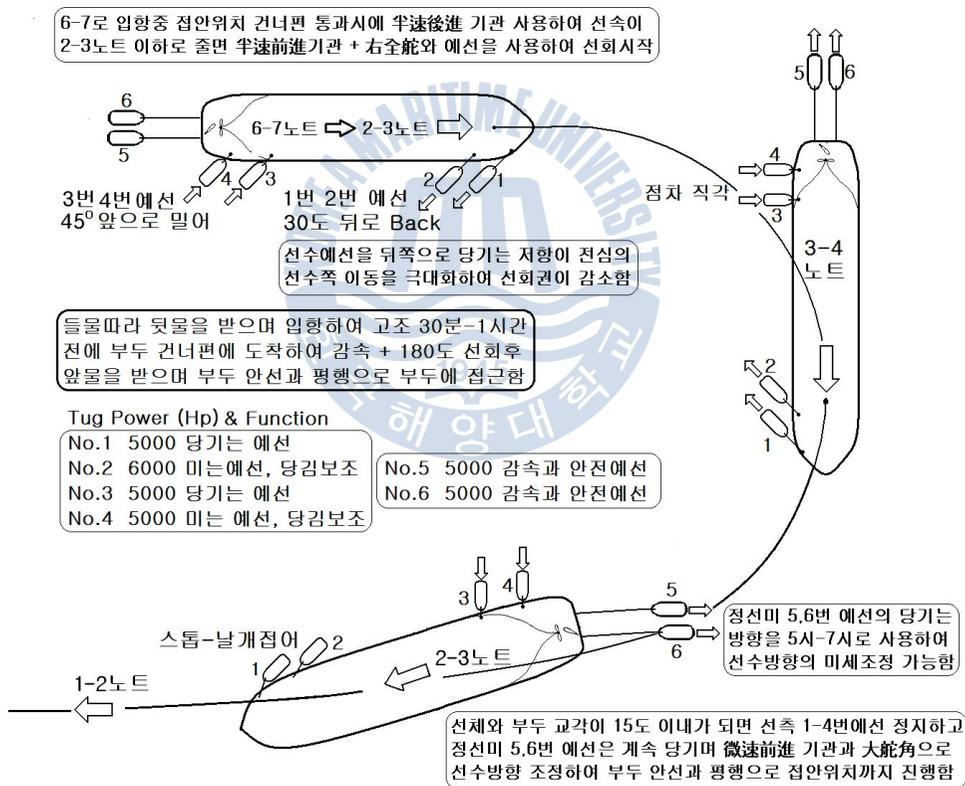


Fig. 14 ULOC 입항 접안시 향로 차단시간 감소와 선회권 축소방안
<출처 ; 평택당진항 도선안전기준 2013>

3.3.3. 후진기관 사용시 우회두 위험

대부분의 선박이 우선회 프로펠러를 장착하고 있는 이유는 좌현대 좌현의 항법에 맞는 조종성을 가지기 위함이다. 선박간 충돌위험이 급박한 경우 후진기관을 사용하면 각각 우선회하도록 대부분의 선박이 우선회 추진기를 채택하고 있으므로 우선회 프로펠러를 대상으로 설명한다. 부두를 향해 접근하던 선박이나 교량을 통항하던 선박이 어떤 이유이던 강한 후진기관을 사용하면, 배수류의 측압작용과 프로펠러 상하부의 수압차이에 의하여 발생하는 횡압력이 합세하여 90~150도까지 우선회하며 감속한다. 또한 일단 회두 타력이 발생하면 예선으로도 그러한 우회두를 제어하지 못하는 것이 보통이다. 위험이 근접하고 있으므로 후진기관을 중단할 수도 없다. 문제는 그러한 우선회 모멘트가 심한 경우와, 우선회 모멘트를 예선으로 제어하지 못하는 경우이다.

배수류의 측압작용과 횡압력도 일종의 외력으로 가정하면 본선의 운동량에 반비례하여 그 영향력이 나타날 것이다. 우선회가 발생하는 영향력을 짐작할 때 고려하여야 할 요소는, 선박의 크기(질량)와 최고속력 및 후진기관을 걸기 직전의 속도이다.

① 선박의 항해속력(최고속력)과 프로펠러의 직경

선박의 통상 서비스 속력인 12~14노트를 기준으로, 그 이상이면 속력이 빠른 선박이며 그 미만은 속력이 느린 선박이다. 속력이 빠른 선박일수록 프로펠러가 커서 횡압력이 크고 배수류가 강하여 후진기관을 사용할 때 측압작용이 심해진다.

② 선박의 크기

파나마스(Panamax) 미만 선박의 경우 질량에 비례하는 운동타성이 비교적 크지 않고 대응조치의 반응이 빠른 편이어서, 후진기관을 사용하기 전

의 속력이 6~7노트 이하이고 조기에 적극적으로 예선을 사용하면 우선회 타성의 제어가 가능하거나 대응방안을 마련하기 어렵지 않다. 케이프급의 거대형 선박은 선체대비 기관의 마력이 적고, 프로펠러의 직경이 파나막스급 대비 적은 편이어서 측압작용은 그리 심하지 않은 편이다. 다만 케이프급의 사양을 가지고 있는 LNG 운반선이나 거대형 컨테이너 운반선은 최고 선속이 17~18노트 이상 상당하여, 측압작용이 심하고 우선회 타성의 조정이 쉽지 않으므로, 민감한 수역에서는 가능한 조기에 감속하여 저속통항이나 접근이 필요하다. 선속이 빠를수록 예선의 효과가 급감하는 것도 제어가 어려운 이유 중의 하나이다.

가장 주의해야할 선형으로는, 만재한 파나막스급과 DWT 10만급 (GRT 5만급) 선박의 경우 후진기관을 사용하기 전의 속력이 6~7노트 이하인 경우에도, 오히려 DWT 20만급 선박보다 후진기관 사용시 배수류의 측압작용에 의하여 발생하는 우선회 타력이 커서, 예선으로 조정하기 어려운 것이 보통이다. 즉 DWT 10만급과 DWT 20만급 선박의 서비스 속력이 다 같이 12~14노트 이므로, 20만톤급 선박이 선체 대비 기관과 프로펠러의 크기가 10만톤급 선박보다 작는데 반하여 선체의 질량이 큰 만큼 운동량도 2배로 커서, 외력이라 할 수 있는 측압작용과 횡압력을 적게 받기 때문이다.

DWT 10만~20만 톤급 (10만~20만 M^3 급) 선박 중 서비스 선속이 큰 LNG 운반선이나 컨테이너 선박을 특히 주의하여야 하며, 20만 톤급 선박도 선체대비 측압작용이나 횡압력은 적은 편이지만 일단 회두모멘트가 발생되거나 축적되면 예선으로 제어가 크게 어려우므로, 후진기관을 사용하기 전부터 그러한 선회감속을 예측하고, 조기에 예선(특히 전심으로부터 먼 선미예선을 먼저 사용함이 효과적임)을 적극적으로 사용하여야 한다.

③ 후진기관을 걸기 전의 속력

후진기관을 강하고 길게 사용할수록 우선회 경향이 커진다. 후진기관을 사용하기 전 선속이 클수록 피험을 위한 후진기관을 강하고 길게 사용해야 하므로, 부두접근이나 교량의 통항전에는 조종성이 유지되는 범위에서 가능한 저속을 유지함이 바람직하다.

④ 거대형 선박의 우현접안 위험과 교량부근에서 후진기관 사용위험

선박이 충돌 위험을 피하기 위한 마지막 조치는 후진기관에 의한 감속이다. 다만 후진기관을 사용하는 감속은 우선회가 불가피하므로, 감속이 완만하고 어려운 거대형 선박은 우현 접안시에 사고위험이 크게 증가하며, 사고의 기록 또한 그러하므로 거대형 선박이 우현접안을 하는 경우는 좌현접안보다 미리 감속을 하여야 한다. 좌현 접안 중에는 강한 후진기관을 사용해도 선수가 부두로부터 멀어지며 감속되므로, 기관의 고장 이외에는 위험이 적은 편이다.

부두에 정지하는 접안과 달리 교량 통항의 최종 목표는 안전한 통과가 목적이므로, 교각 부근에서 감속을 위하여 함부로 후진기관을 사용하는 것은 위험하다. 특히 선수의 오른쪽에 교각이 있을 때 대책없이 후진기관을 사용하면 큰 위험을 감수하여야 한다.

3.3.4 외력의 효과

외력이라 함은 바람과 조류, 동행예선의 영향 등이 본선의 이동에 주는 모든 영향을 의미한다. 외력의 효과는 선박의 운동량(질량 \times 속력)에 반비례한다. 본선의 운동량이 클 때는 외력의 영향이 적고, 운동량이 적을 때는 영향이 크다. 선박 조종시에 항상 유념해야 할 중요한 원칙은, 선박의 속도에 따라 외력의 효과가 달라지므로, 선박의 진행속도가 너무 느리면 운동량이 적고 외력의 영향을 많이 받아서 압류나 회두가 커지고, 이를 보정하는 편각 또한 커지기 때문에 오히려 조종이 어렵고 위험해진다. 자전

거에 비유할 수 있다. 아주 천천히 갈 때는 운동량이 적으므로 손으로 밀어도 넘어질 수 있는 반면, 빠르게 갈 때는 운동량이 크기 때문에 발로 밀어도 잘 넘어지지 않는 것과 같다.

3.4 선속에 따른 회두운동 특성

3.4.1. 조종성 확보 선속

자동차와 같은 육상교통에 익숙한 사람들은 선박도 저속으로 운항할수록 안전할 것이라는 선입견이 지배적이며, 선박의 조종에 대한 비전문성의 대표적 오류이다. 선박이 조종성을 가진다고 하는 것은, 정침이 가능하고 원하는 방향으로 변침을 할 수 있는 것을 말한다. 타판을 지나는 일정속력 이상의 수류에 의하여 정침과 변침이 가능해지는 선박은, 조종성이 확보되는 선속을 유지하여야 하며, 교량을 통항할 때는 조종이 가능한 속력으로 통항하여야 한다.

여러 국제적 해사관련 관례에 따르면, 통상의 타면적비를 가진 대형선박의 조종성이 확보되는 최저 속력은 6~7노트 정도이다. 다만 수천톤급의 소형선박이라면 4~5노트에서도 조종성을 유지할 수 있고, 가변피치 프로펠러를 장착한 선박은 6~7노트 이상 선속에서도 조종이 어려울 수도 있으며, 같은 선박이라도 적재상태에 따라 조종 가능한 선속은 달라진다. 따라서 조종성이 유지되는 안전한 선속을 특정하는 것보다, 선박별 상태별 특성에 따른 “조종 가능한 선속”으로 통항하는 것이 합리적이다. 당시의 사정에 따른 개인적인 판단이 중요하며, 조종 가능한 선속은 다음과 같은 사항이 고려되어야 한다.

① 가속수류 (Quick water)

조종성 가능속력은 타판을 지나는 수류의 속력으로 판단한다. 즉, 기관

을 사용하며 항행중인 선박은 프로펠러의 가속수류(加速水流, 프로펠러를 사용할 때 뒤쪽으로 밀어내는 가속수류로서 선속보다 4~5노트 빠름)가 있으므로, 타면을 지나는 수류는 “선속 + 가속수류”로서 고정피치 프로펠러 선박이 2~3노트 선속이라면, 타면을 지나는 수류의 합은 6~8노트가 되어 타효가 나타난다. 단 일반적으로 타효가 좋지 않은 가변피치 프로펠러 선박은 동일한 2~3노트에서도, 증속 중에는 조종이 가능하지만 감속 중에는 타효가 없어지는 것에 유의하여야 한다.

② 예선의 동행효과 (저자 주장)

본선의 조종성 상실을 대비하여 예선을 동행하는 것은 기본적인 안전조치이다. 다만 동행하는 예선으로 인한 조종의 장애와 예선의 지원 자세에 따라 진행 중인 선박에 주는 영향이 달라질 수 있음을 감안하여야 한다. Fig. 15와 같이 본선과 예선이 동행을 하면 예선에 의한 직접적인 저항이나, 예선이 동행하는 선체주위에 유선이 변화하고 저압부가 발생하여 선체의 편향이 발생한다. 특히 부두 접근조종을 할 때 선속이 2~3노트 이하로 줄어서 본선의 운동량이 적고 외력의 영향을 쉽게 받을 때, 예선이 직각의 지원 자세로 동행하면 예선 쪽으로 회두하는 경향이 크게 나타난다. 이를 예선의 가타효과(假舵效果, Jury rudder effect)라고 하며 미리 그러한 영향을 예측하고 타각으로 보정하며 진행하여야 한다.

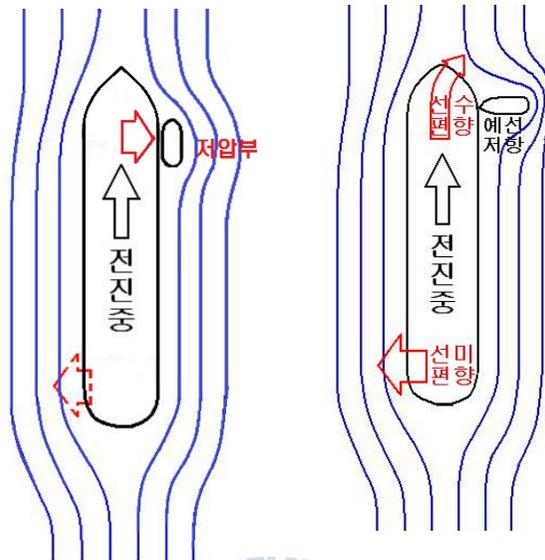


Fig. 15 예선 동행에 의한 선체주위 유선 변화

본선과 예선이 평행한 자세로 동행을 할 때, 예선에 장력이 없는 경우에도 예선을 잡은 반대측면보다 예선을 잡은 쪽의 유선이 길어지며, 유속이 빨라서 수압이 작아지므로 그 쪽으로 편향하는 경향이 발생한다. 대형선보다는 소형 선박일수록, 같은 선박이라도 흘수가 적을수록 운동량이 적어서 외력의 영향이 커지므로 그러한 영향은 커진다. 다만 기관을 사용하며 상당한 속력으로 진행하여 조종성이 좋고 운동량이 클 때는 그러한 영향이 잘 나타나지 않지만, 교량 통항을 위하여 선속을 줄이고 조종성이 떨어지면, 오히려 그러한 영향이 더 커지는 것에 유의하여야 한다.

예선의 동행영향은 선미 쪽 측면에 잡은 예선보다 선수 쪽 측면에 잡은 예선이 더 큰⁷⁾ 반면, 예선의 지원효과는 전심으로부터 먼 선미 예선이 효

7) 선미 예선은 본선의 측면유선 뒤쪽에서 따라오고 있으므로 전심으로부터 먼 거리에 있음에도 불구하고 그 영향은 적다. 선수 예선은 예선자체가 형성하는 저항과 본선 주위 유선의 변화가 합세하여 동행영향이 큰 것으로 생각된다. 전심이 물체의 진행방향으로 쏠리는 원인은 저항이다. 선수 측면에 잡은 예선이 조금이라도 매달려서 예선에 장력이 있게 되면 예선이 당기는 직접효과와 저항에 의하여 본선의 전심이 더욱 선수 쪽으로 치우치게 되어 회두효과는 더 커진다. 외력의 영향은 본선의 운동량에 반비례하므로 대형선의 경우는 그러한 영향이 크지 않으나 소형선박은 그 영향이 크며, 대형선박의 경우 영향은 비교적 적은 편이지만 일단 회두모멘트가 발생

과적이다. 따라서 5~6노트의 상당한 속력으로 진행 중에 예선의 지원이 필요한 경우는, 선미 예선의 사용을 먼저 시도하여야 한다. 선수예선은 예색에 장력이 가지 않도록 예색을 늘어뜨린 채 따라오도록 지시하고 감시하여야 한다. 예선과 동행하는 경우 조종성이 떨어지면 즉시 기관을 사용하여 조종성을 회복하여야 하며, 교량을 통항하고 나서 필요한 감속을 시도하여야 한다. 함부로 예선의 지원을 시도하다가⁸⁾ 타와 전진기관을 사용하여 조종성을 회복할 기회를 놓치면 아니 된다.

3.4.2. 조종특성 파악거리와 사용타각의 정례화

선장이 직접 조종하는 경우와 달리 도선사가 선박을 조종하는 경우는, 선박의 조종특성을 파악할 거리가 필요하다. 소형선박의 경우 최소한 3~4마일, 대형선박의 경우는 5~6마일 이전의 거리에서부터 선박의 프로펠러와 타 및 기관장비 특성에 대한 정보를 교환하고, 증감속을 시도하며 조종특성을 파악⁹⁾하여야 한다. 거리가 부족하다면 도선점을 조정하여 그러한 거리를 확보하여야 한다.

불특정 다수의 선박을 조종하는 도선사는 “통상타각 10도”, “대타각 20도”, “비상타각 35도” 등으로 사용타각을 정례화하여 선박의 조종성을 비교하며, 해당 선박의 조종성을 판단하여야 하고, 조종이 가능한 최

하면 제어가 쉽지 않은 특징을 감안하여 조기에 적극적인 제어를 하여야 한다.

8) 예선으로 조종성의 회복을 시도할 때는 먼저 선미 예선을 본선의 30~45도 뒤로 당기거나 30~45도 앞으로 밀게 하여야 한다. 선수 예선은 15~30도 뒤로 당기는 경우에만 사용이 가능하다. 함부로 선수예선을 직각으로 세우며 밀게 하면 예선의 넓은 선측저항이 가타효과를 가져와 오히려 예선 쪽으로 회두하거나 예선이 뒤집히는 Girding 사고 위험이 있다.

9) 평택 당진항은 선속에 여유가 있고 조종성이 우수한 컨테이너 선박이나 자동차 운반선과 중소형 선박은 설정항로의 시작점이 있는 입파 도선점에서 도선사가 승선을 하도록 하고 있으며, 조종성이 둔중한 4만톤 이상의 위험물 운반선과 7만톤 이상의 일반선박은 입파도 도선점으로 부터 12마일 떨어진 장안서 도선점 (풍랑시에는 입파도 항로 입구로부터 6마일 떨어진 장안서 풍랑 도선점)에서 도선사가 승하선하여 조종성을 파악한 후에 입파 도선사 승하선 구역의 혼잡지역에 접근하도록 하고 있다. 고조 정조시 정시각에 부두에 도착하여야 하는 이러한 선박의 선장이 혼잡한 입파도 도선사 승하선 구역을 접근하지 못하는 경우 물때를 놓치고 접안이 연기되는 것도 중요한 이유이다.

저속력을 짐작하여야 한다. 고정피치 프로펠러 선박에 비하여 타효(舵效)가 떨어지는 가변피치 프로펠러 선박이나, 타면적비가 기준미달인 선박을 구분하여 선속별로 사용타각을 통상보다 크게 하거나, 저속으로 인한 타효 상실이 발생하면 일시적으로 기관을 사용(증속)하여 프로펠러의 가속수류¹⁰⁾에 의한 조종성 회복을 시도하여야 한다. 일시적 기관사용으로 증속을 걱정할 필요는 없으며, 조종성이 둔중한 대형 선박일수록 전진기관을 사용할 때 타효의 회복에 비하여 증속(Gather way)은 늦게 나타나므로, 속력(速力, 惰力, 慣性力)의 증가를 걱정할 필요는 없다.

3.5 조종과 항법장비

3.5.1. 조타기

항해 중 조타기의 일시적 고장으로 선박의 조종이 불가하게 되는 경우는 참으로 난감하다. 구동용 유압시스템을 2조로 구성하고 비상조타장치를 의무화하고 있지만, 연안이나 항내에서 타기의 고장으로 순식간에 발생하는 사고를 예방하기는 쉽지 않다. 혼잡지역에서 조종이나 항해를 할 때에는 항상 2개의 유압모터를 병렬로 작동하는 안전조치는 반드시 지켜야 하는 선원의 상무(常務, Good seamanship)이다. 한 개의 유압모터에 비해 두 개의 유압모터를 사용하면 작동하는 유압은 같지만 유량이 늘어나, 조타기의 제어속도가 빨라지는 만큼 반응이 빨라지고 조종성이 개선된다.

3.5.2. 레이더

항해와 통항안전을 위한 정보의 수집에 레이더가 차지하는 비중은 크다. 다양해지고 있는 선체의 구조로 인한 전방감시의 방해요소나, 복잡한

10) Quick Water, 加速水流, 4~5노트 정도로, 대형선박이 2~3노트의 저속에서도 일시적으로 기관을 증속하여 가속수류를 더하면 타를 지나는 수류의 합은 6~8노트가 되어 타효가 회복된다.

항로 환경 및 배경광에 의한 시인 방해 등 여러 가지 문제점을 레이더에 의하여 보완하는 경우가 많아지고 있기 때문이며, 항해 중 갑자기 형성되는 안개로 인하여 시정이 나빠지는 경우 거의 유일한 대안은 레이더뿐이다.

레이더 문제는 고장과 성능저하 및 사용미숙으로 구분할 수 있다. 레이더 화면상에서 6마일 이내의 등부표가 모두 나타나지 않으면 적절하게 조정이 되지 않았다고 할 수 있으며, 조정을 잘 하였음에도 불구하고 6마일 이내의 등부표가 모두 나타나지 않으면 수리가 필요한 성능 저하로 판단하여야 한다.

아무리 강조해도 지나치지 않은 것이 레이더의 조정 순서이다. 최대동조(Max tuning) 또는 자동동조(Auto tuning) ⇒ 우설 간섭 최소(Rain Zero) ⇒ 수신이득(Gain) 75% 또는 휘선이 나타나기 직전 ⇒ 해면반사 조정(STC) 25% 또는 선체주변에 최소의 해면반사가 보이도록 조정 한 후에, 비가 오거나 스-콜성 낮은 구름이 있으면 Rain을 적당히 조정한다. 단 모든 조정은 선박 주변 3마일 이내의 등부표가 나타나야 하며, 우설 기상에서는 X-band(파장 3cm)보다 우설 간섭이 적은 S-band(파장 10cm) 레이더를 우선으로 사용하여야 한다.

3.5.3. 항법통신

실측 위치와 실측위치 사이에 DR 위치로서 짐작을 하며 독항(獨航)을 하던 시대를 지나, 이제 거의 대부분 연안과 주요 항로는 대량교통으로 혼잡한 해상교통시대가 되었다. 전자 해도상에 표시되는 GPS의 위치를 실시간 연속적으로 보면서 항법관계의 형성이 예상되는 선박의 정체성을 AIS로써 파악하고, 상호간에 어떠한 의심이던 VHF로서 협의하며 항법적 용을 하고, 불가피하다면 항법으로부터 이탈을 협의하여 안전조치를 하는 시대이다. 그렇게 하는 것이 더 안전하고 편리하다면, 원칙적으로 추월이

금지된 해역이라도 추월을 협의하거나, 우현 대 우현 항과를 협의할 수도 있다. 강행규정이 없어도 선교에 2대 이상의 VHF는 기본이 되었으며, Ch.16과 해당 해역의 관제채널을 동시에 청수하도록 하고 있으며, VHF의 고장이나 관제채널을 청수하지 않아서 중요한 항법교신을 못하였다면, 그 결과로 발생한 사고의 책임을 감수하여야 한다.

음향장비는 아직도 유효하게 사용하고 있으나 주의환기신호와 경고신호를 취명하는 것이 거의 전부이고, 기류신호를 장비하고 있으나 유물로서 보관하는 수준이다. 음향장비의 가청거리가 무풍시에 2마일 정도임을 감안하여, 2마일 이내의 거리에서 가능한 조기에 사용을 하는 정도의 주의만으로도 충분하다.



제4장 선박조종의 기술적 대응요소

선박의 조종특성을 고려한 기술적인 이해가 부족하면 교각과의 충돌사고 개연성이 커지므로, 다음과 같은 이해가 선행되어야 한다.

4.1 선박조종의 기술적 요인

4.1.1 감속 스케줄과 급감속중 타효 상실

선박조종 스케줄의 첫 번째 요소는 구간별 선속의 조정이다. 선속의 조정을 실패하면 예선의 도움조차 기대하기 어렵다. 선속 2~3노트에서 예선의 효과가 절반으로 줄어들고, 4~5노트에서는 1/4까지 줄어들기 때문이다. 화물의 적재여부나 조류의 방향에 따라 다르지만, 통상 만재한 1만 DWT 미만의 중소형 선박의 자연감속은 마일 당 5노트, 파나막스급 선박은 마일 당 3노트, 케이프급 선박은 마일 당 2노트 정도로 상정하고 비교를 하면 무리가 없다. 다만 감속하고자 하는 선속보다는 한 단계 더 낮은 기관을 사용하는 것이 적절한 감속의 요령이다.

문제는 이러한 자연감속 범위보다 더 급한 감속을 할 경우, 저속기관과 프로펠러를 사용하여 가속수류가 있음에도 불구하고 조종성을 상실할 수 있다는 것이다. 예컨대 12노트로 항주하던 선박이 갑자기 4~5노트의 극미속 기관을 사용하면, 프로펠러를 지나가는 수류의 속력은 가속수류를 감안해도 현재의 선속보다 느린 8~10노트 이므로, 타판 부근에서 수류의 교란이 발생하여 조종성을 상실하고, 선박은 사용하는 타의 사용방향과 무관하게 처음 회두하던 방향으로 회두를 계속하는 불안정 모멘트가 발생

한다.

이와 같은 내용에 대한 사전지식이 없는 상황에서 이러한 불안정모멘트 현상이 발생하면, 매우 당황하여 적절한 조치를 하지 못할 수도 있으나, 좀 더 감속이 되어 선속과 가속수류의 합이 사용기관의 속력보다 보다 적어지거나, 일시적으로 큰 전진 기관과 타를 사용하여 선수를 안전한 방향으로 조정하고 감속을 계속하면, 타효는 다시 살아난다. 수역이 넓고 안전한 해역에서 이러한 과정을 실험해보고 이해하지 않으면, 논리적으로 알고 있어도 실제 상황이 발생하면 불안하고 대응이 어렵다.

선박별로 감속기준에 대한 정밀한 구간속력을 따지기 보다는, 서너 가지의 마일당 감속 기본모델을 외워두고 비교하며 조정하는 것이 효과적이다. 과거에 많이 사용했던 선박 길이당 일정속도를 감속하는 방법은 목측 오차가 크고 먼 거리의 비교가 곤란하여 실제 사용이 되지 않고 있으며, 항행시 레이더를 기본으로 사용하는 요즈음은 마일당 일정량의 감속방법을 주로 사용한다. 즉 입항자세 접안을 하는 경우, 부두에 접근 중 부두로부터 $L \sim 2L$ 의 거리를 통과할 때 선속 2~4노트를 목표로 하여, DWT 1만톤급 이하의 선박은 마일당 5노트, 파나막스급 또는 DWT 10만톤급 선박은 마일당 3노트, 케이프급 또는 VLCC급 이상은 마일당 2노트 정도의 자연감속을 예정하고 비교하면 편리하다. 부두 앞에서 180도 회두하여 접안하는 경우는, 선회 전의 부두 건너편에서 선회 후 부두 앞까지 1마일이 더 남은 것으로 생각하면 적당하다. 수선하 면적이 큰 대형선박은 180도 선회중 선속의 7~8할이 감속되어, 10노트로 180도 회두를 하면 회두 완료 시점의 선속은 2~3노트밖에 남지 않기 때문이다.

Table 4. 선박 크기별 감속 스케줄

선박 DWT	L-2L 이전	1마일 이전 또는 회두전 부두 건너편	2마일 이전	3마일 이전	4마일 이전	5마 일 이전	비고
1만 이하	2-3 노트	7-8노트	13노트	기관 S/B	통상 항해		부두접근 조종속력 2-3 노트 + 마일당 5 노트
Panamax 10만 DWT	2-3 노트	5-6노트	9노트	12노 트	기관 S/B	통상 항해	부두접근 조종속력 2-3 노트 + 마일당 3 노트
Cape급 VLCC급	2-3 노트	4-5노트	7노트	9노트	11노트	기관 S/B	부두접근 조종속력 2-3 노트 + 마일당 2 노트

* 위 거리는 통상 도선에 필요한 거리이며, 순조 입항, 급감속 방법에 익숙하지 못한 초심자 및 개인적 안전 여유를 위해 상기 거리보다 1-2 마일 이전부터 미리 감속을 시작할 수 있다.
* 대형 선박의 180도 회두 중 자연 감속은 회두 전 속력의 60~70% 정도이며, 예선을 사용하는 경우는 70-80% 정도이다.

Table 4의 비교표는 순조인지 역조인지, 또는 공선인지 만선인지 등 외력과 선박의 상태에 따라 달라지고, 예선을 감속에 이용할 것인지 여부에 따라서도 달라진다. 다만 예선은 예비용으로 간주함이 안전대책으로서 신중하다고 할 것이다. 예선을 감속에 이용할 경우, 입항자세 접안 때는 선미 예선을 뒤로 당기게 하여야 선수방향의 변화가 없이 감속하고, 180도 회두하여 출항자세로 접안할 때는 선수 예선을 뒤로 당기면, 인공저항으로 인하여 전심을 선수 쪽으로 더욱 이동하게 하며 감속과 회두를 동시에 보조하고, 선미예선은 직각으로 밀면 진행방향과 선수방향의 차이인 편각이 커져서 넓은 선측면 저항에 의한 감속과 선회권 축소효과가 크다.

4.1.2. 타효(舵效)유지

① 교량 4L 이내 직선향주

교량통항 직전에 변침을 하거나 변침을 하며 교량을 통과하는 것은 위

힘하다. 적어도 4L 이전에서 교량의 중앙을 향하여 정침하고, 가급적 큰 변침이 없이 교량을 통항하여야 한다.

② 조타수의 실수예방

실수를 하지 말아야 할 곳, 소위 실수를 하면 수정할 여유가 없거나 돌이킬 수 없는 상황일수록 심리적인 중압감이나 긴장으로 인하여 오히려 평소보다 실수가 자주 나타난다. 예컨대 입으로는 좌전타(左全舵, Hard-port)를 복창하고 조타기는 우전타(右全舵, Hard-starboard)로 쓰는 것 등이다. 교량의 통항전이나 갑문의 입거직전과 같이 민감한 위치에서 선장과 도선사는 매번 조타 구령을 할 때마다 타각지시기를 확인하여야 한다.

또한 그러한 곳일수록 정침(Steady)이나 침로방위의 구령 대신, 선장 또는 도선사가 사용타각을 직접구령 후 정침하게 하여야 한다. 정침(Steady)할 침로방위만을 지시하여 타수가 임의로 사용타각을 판단하게 함은, 선장이나 도선사의 직무유기라고 할 만큼 중대한 문제이다. 심리적으로 위축된 조타수는 필요한 타각을 충분히 과감하게 사용하지 못하고, 소극적으로 작게 사용하다가 변침이나 정침이 늦어지고, 위험이 가중되는 경우가 많기 때문이다.

4.1.3. 선박조종운동에 미치는 유체력

① 안전한 이격거리

유체력(유체역학적)이 발생하지 않는 정도의 충분한 교각 폭(Span), 예컨대 양측의 교각으로부터 선체길이 이상을 유지할 수 있는 정도의 충분한 교각 폭이 아닌 경우, 유체력의 발생을 억제하기 위하여 가능한 교각의 중심을 통항하여야 한다. 특히 교각의 폭이 선박의 길이(L) 이내로 좁을 경우, 반드시 교각의 중심으로 일방 통항하여 함이 안전하다. 선체의 양

측에 나타나는 유체력이 같고 그 방향이 반대이므로, 서로 상쇄되어 선박의 조종에 미치는 영향이 최소화되기 때문이다.

② 극단의 유체력

선박의 조종에서 환경이 통상의 2배에 달하는 영향력이라면 비상한 조치가 필요한 바, 선저여유수심(UKC, Under keel clearance)이 흘수의 절반 이하이면 선회경이 2배로 늘어날 만큼 상당한 유체력이 작용한다. 측벽의 영향도 동일한 유체력이므로 선폭의 절반 이하로 선박이 교각에 접근하면, 그 유체력(흡인과 반발)을 통상의 조종으로서는 제어하기 어려울 만큼 커진다. 어떠한 경우에도 선폭 이내로 교각이나 충돌 방지공에 가까워지지 않도록 하여야 하며, 불가피하게 그러한 범위로 접근을 하는 경우 비상한 피항 동작, 즉 적극적이고 과감한 피항동 작을 하여야 한다.

4.1.4. 기관사용

① 기관정지 통항위험

기관을 정지한 채 잔여타력으로 진행 중에 어느 속력까지 타효가 있을 것인가에 대한 예측을 하고, 타효의 상실에 대한 대비를 하여야 한다. 2~3노트의 저속이라도 일시적으로 기관을 사용하여 가속수류와 선속의 합이 6~7노트 이상¹¹⁾이면 타효가 살아나서 조종이 가능해진다. 일시적으로 전진기관을 사용하는 경우, 기동타력이 큰 대형선박의 경우 선속의 증가는 느리게 나타나는 반면 타효는 즉각 살아나는 특징을 이용하여야 한다. 반대로 대형 선박은 4~5노트 속력이라도 기관을 정지한 채 진행 중에는 타효가 불량하고 조종이 매우 어렵다. 특히 선박이 회두 중에 기관을 정지하여 가속수류를 중단하면, 더 이상 정침(定針, Steady)이나 회두가 되지 않으므로 위험하다. 일시적으로 기관을 사용하여 안전한 방향으로 정

11) 선속 2~3노트에 기관을 사용하여 4~5노트의 가속수류를 발생시키면 타관을 지나는 수류의 속력은 6~8노트가 되어 조종이 가능해진다.

침을 한 후에 기관을 정지하거나, 후진기관을 사용하여 감속을 하는 것은 조종술의 기본이다.

② 기관 시동불량과 교량 근처에서 시동위험

시동 공기압과 분사시간이 충분하면 전속 전진 중에 전속후진(Crush astern)의 시동이 가능하지만, 그러한 규정에 맞게 기관조작을 하는 선박은 거의 없다는 가정으로 기관을 사용함이 안전하다. 통상 6~7노트 이상의 선속에서 후진기관을 사용하면 시동불량이 발생할 수 있다는 것을 전제로, 기관을 사용하기 전에 미리 5~6노트 이하로 감속하는 스케줄을 가져야 한다. 선박과 교량의 충돌은 불법행위이며, 기관의 고장이 불법행위의 면책사유가 되지 못한다. 기관의 고장까지도 염두에 두고 대비하는 조종술이 필요하다.

교량 근처에서는 기관의 시동을 자제하여야 한다. 미리 감속한 후 극미속 이상의 전진기관을 사용하며, 프로펠러의 가속수류를 이용하여 조종성을 확보한 채로 통항을 하여야 한다. 타효가 불량한 CPP 선박의 경우 좀더 빠른 선속으로 교량을 통과한 후에, 후진기관을 사용하여 감속하는 것이 바람직하다.

③ 기관의 후진시 주의사항

교량 통항시에 기관의 후진은, 당시의 선속에서 정지거리를 감안하여 신중하게 결정하여야 한다. 기관 역전 중에는 타효가 없고, 기관 역전은 배수류의 측압작용과 횡압력으로 인하여, 선체가 프로펠러의 회전방향과 반대로 선회하며 감속되기 때문이다. 우회두 1축 선박의 경우, 원침로로부터 90~150도까지 우선회 감속하며 진행하는 정지종거(停止 縱距, 최단 정지거리의 원침로 방향 진행거리)는, 선박의 선회경의 2~5배에 달한다. 선수 우측에 교각이 가까이 있을 때 기관의 후진을 사용하면 교각과의 충돌위험은 매우 커진다.

④ 긴급 투묘시 선박의 회두위험

선박이 진행 중 한쪽 앵커를 투묘하고 끝면(드레징, Dredging of anchor) 선체의 회두가 발생한다. 양현 앵커를 같은 길이로 수심의 2배 이내로 투묘하고 끝면, 저항이 2배가 되어 더 효과적이며 선체의 회두를 최소화할 수 있다. 상당한 선속에서 투묘를 하고 끝게 되면 묘쇄의 절단 위험이 있으므로 4~5노트 이상에서는 Short stay(수심의 1.5배 정도) 상태로 끌고, 선속이 2~3노트 이하로 감소한 이후에 점차 체인을 신출하여 파주력을 증가하여야 한다.

드레징 중에도 안전한 쪽으로 선체의 방향을 유지하기 위하여 적극적으로 대타각을 사용하여야 한다. 타효가 있거나 없거나 하는 것은 별개의 문제이며, 시각적으로 타효가 보이지 않더라도 타는 안전한 방향으로 최대한 돌려놓아야 한다. 언제든 일시적이고 짧은 전진기관을 사용할 때 그 효과가 즉시 나타나게 하기 위함이며, 경황 중에 타를 사용하는 것조차 잊어버리는 것을 예방하기 위함이다.

4.1.5. 예선 사용

① 선측 접·이안 예선의 감속 보조와 선체회두

교량의 부근에 있는 부두에 출입하는 선박은 선측에 접·이안 예선을 잡고 동행하며 교량을 통항하게 된다. 선측에 잡은 예선을 뒤로 당겨 감속을 하고자 할 때는 급장력(急張力)이 걸려 예색이 절단될 수 있다는 것과, 선체가 예선의 방향으로 회두하는 것을 유의하여야 한다.

선측에 예선을 잡고 동행할 때, 예선의 방향으로 회두하는 영향을 줄이기 위하여 예선은 줄을 늘어뜨린 채 가만히 따라오고 있다. 조타기나 기관의 이상이 발생하였을 때 당황하여 갑자기 **“본선 뒤쪽으로 Full back !!”** 과 같은 구령을 사용하면, 당황한 예선의 선장이 급하게 예선을 뒤로 당기는 경우, 예인색에 급장력이 발생하여 절단될 수 있다. 수백톤 무게의 예선을 갑자기 본선의 진행방향과 반대로 급하게 당기면 예색의 절단

이 우려되므로, 긴급시라고 할지라도 선측에 동행하던 예선을 감속에 사용할 때, 첫 구령은 침착하게 조용한 목소리로 "(선미)예선 뒤로 Back"이다. 아무리 급해도 일단 가만히 당겨 급장력이 생기는 것을 예방한 다음에, 이어서 "Full back"의 구령을 한 후에 본선의 타기나 기관에 이상이 발생하였음을 알려서, 기관을 충분히 사용하도록 하여야 한다.

선측에 잡은 선수미 접·이안 예선의 사용을 비교하면, 선수예선을 본선의 선미 쪽으로 (뒤쪽으로) 당겨서 감속을 시도할 경우, 감속과 예선 쪽으로 회두가 동시에 발생하여 선회 감속하므로, 침로를 이탈하고 교각 쪽으로 접근할 우려가 크다. 반면 선미 쪽 예선은 회두를 발생시키지 않고 감속만을 할 수가 있으며, 선미 쪽 예선은 당기는 방향을 7시 방향(선수 우회두)이나 5시 방향(선수 좌회두 감속)으로 조정하여 선미의 반작용으로 선수방향을 조정할 수도 있다. 다만 선측 예선을 뒤로 당기는 경우, 예색이 본선의 선미 구조물이나 굴곡부에서 예색이 꺾여(Kink) 마찰절단(Chafing)이 발생할 우려가 있으므로 사용방향에 제한이 있을 수 있으며, 가장 안전한 감속수단은 정선미 감속예선이다. 즉 선수 측면 예선은 본선의 방향에 따라 앞에서 뒤로 밀거나 뒤에서 잡아당기는 등의 선체 방향에 따라 보조가 가능하며, 선미 측면에 잡은 예선은 선체가 우회두 경향이 있을 때 본선의 5시 방향까지만 전속을 사용할 수 있는 제한이 있음을 감안하여야 한다.

② 정선미 감속 예선의 기준과 사용

선측의 접·이안 예선을 감속의 목적으로 사용할 경우 위와 같은 제한이 있어 오히려 충돌 위험을 가중시킬 수도 있으므로, 교량의 통항선박 설계기준¹²⁾을 초과하는 선박이 교량을 통항하고자 할 경우 정선미의 감속 예선을 사용하여야 한다.

12) 교량의 충돌방지공의 통항기준 용량은 교량의 충돌방지공의 용량을 기준으로 함이 합리적이다. 서해대교의 경우 5만 DWT 선박이 5노트의 속력으로 소성충돌을 할 경우 교각을 보호할 수 있는 설계구조이다.

정선미 감속예선의 마력은 두 가지 방법으로 검토하여 산출하여야 한다. 먼저 본선 기관의 시동불량이나 고장의 경우 예선이 밀면서 항행을 계속하거나, 항로상 비상 투묘시 조종이 가능한 최저속력 6~7노트에서 정선미 감속예선을 이용하여, 적어도 2L (8만 DWT급 파나막스의 경우 약 500m) 이내의 거리¹³⁾에서 선박을 정지시킬 수 있어야 한다. SDWT 7만톤 (배수량 8.5만톤) 곡물선박이 교량통항시 2L=500m 거리에서 정지시킬 수 있는 감속예선(Z-peller 타입예선) 마력의 산출은 ;

$$F = \frac{Wv^2}{2gS} (\text{톤}), F = \frac{85000 \times 3.09^2}{2 \times 9.8 \times 500} = 82.8 (\text{톤}), \frac{82.8}{1.6} \times 100 = 5,175 (\text{마력})$$

단, 적절한 예선의 수배가 어려워 마력 조정이 불가피한 경우, 사전에 이를 해당 주도선사에게 알리고 특별도선을 협의하여 별도의 신중하고 주의 깊은 조종 안전조치가 필요하다. 불가피한 사정 때문에 특별한 주의를 기울여 가며 예외적으로 시행한 예선사용 사례가, 전례 또는 관례로 잘못 정착되어 예선사용 (안전)기준을 하향시키면, “근접사고(유사사고, Near-mis)와 대형사고의 상관관계(하인리히법칙, 보험사고 통계정리)”에서 입증된 바와 같이, 교량붕괴 같은 재난위험을 초래할 수도 있으므로, 이를 경계하는 안전기준을 마련하여야 한다.

다른 하나의 검토는, 선박이 극미속 전진기관(Dead slow ahead)을 사용하여 타판에 보내는 가속수류를 이용하여, 증속(Gather way)없이 교량을 통항할 수 있는 정도의 마력을 가진 감속예선을 이용하는 것이다. 예컨대 선박의 주기관이 20,000마력일 경우 극미속 전진기관의 추력과 같은

13) 일반 항로에서 항로의 계획수심을 초과하는 홀수의 선박이 조고를 이용하여 통항하는 등 환경여건상 위험을 대비하는 예선의 경우 조종성이 확보되는 6~7노트의 선박을 변침시 침로 안정 거리인 4L 이내의 거리에서 정지시킬 수 있는 정도의 에스코트 예선이 필요하지만 교량의 경우 즉각적인 위험이 있음을 감안하여 적어도 2L 이내의 거리에서 정지할 수 있을 정도의 예선 마력이 현실적이고 합리적이다. 예컨대 L이내의 거리라고 규정하면 더욱 합리적이라고 할 수 있으나 필요한 예선의 마력이 너무 커져서 수배가 불가하므로 현실적이지 못하다. 교각과의 접촉을 피할 수 있는 범위라면 불가피한 잔여 잔여타력은 충돌방지공이 감당하여야 한다.

5,000마력의 예선을 정선미에서 당기며 통항할 경우, 증속 없이 조종성을 유지하며 교량을 통항할 수 있다.

4.2 선박조종에 영향을 주는 환경요인

시정 불량이나 시인 불량으로 인하여 위험한 사정이 발생하면, 교량통항을 중단하거나 회항하여 교량으로부터 멀어지도록 규정을 만들기는 쉽지만, 그러한 규정이 현실적으로 가능한 것인지 또는 사고 예방을 위하여 합리적인 것인지는 생각해 봐야 한다. 사고발생시 처벌을 위한 법규는 사고의 예방효과가 없을 수도 있기 때문이다.

4.2.1. 시정 불량

안개와 폭우 및 폭설로 인하여 갑자기 형성되는 시정 불량으로 인하여 선박이 교각을 시인하지 못하면, 선박과 교량의 충돌위험이 커진다. 교량 부근으로 접근 중에 갑작스런 시정제한이 발행한다 하여도, 주변에 충분한 여유수역이 없다면 운항 중인 선박이 급정지한다거나 회항하기는 현실적으로 어려울 수도 있고, 오히려 위험을 가중시킬 수 있다. 이러한 사정을 감안하여 육안으로 교각을 확인할 때, 레이더에서 교각을 교차 확인하여 불시에 형성되는 시정 불량에 대한 대비를 하여야 한다.

4.2.2. 배후광에 의한 시인불량

교량 뒤쪽의 부두와 시설물의 조명등이나 작업등이 배경광으로 작용하여, 입항중인 선박이 교각이나 다른 선박의 등화, 특히 소형선박의 등화를 잘 시인하지 못하는 경우가 있으며, 비가 와서 유리창에 물이 젖어 있으면 배후광의 번짐 현상이 심하여 시인이 더욱 불량해 질수 있다. 선교의 좌우를 오가며 다른 위치에서 시인을 시도하여야 하며, 레이더를 이용

하여 중복 확인하여야 한다.

4.2.3. 압류와 압류의 시인(측정) 방안

교량을 통행하고자 교량의 중앙을 향하여 진행 중에 강풍이나 횡조류의 영향 때문에, 또는 선박의 선회 중에 교량의 중앙 연장선을 지키지 못하고 압류가 발생하는 경우, 이를 즉각 인식하고 수정하여야 한다. 수정 동작을 하는 도중에도 양쪽 교각에 설치된 전후 등대의 중시를 이용하는 등 연속적으로 편위(偏位) 또는 침로이탈 여부 측정이 가능하여야 한다. 교량에 너무 근접한 이후에 수정하고자 선수 방향을 돌리면 반작용으로 선미가 오히려 교각에 더욱 가까워지며, 선수미간 유체 역학적(흡인과 반발력)의 밸런스가 깨어지고, 선체와 교각이 가까운 부분에 흡인력이 편중되어 극단의 위험이 발생할 수가 있다. 평택항 항로를 가로 지르는 서해대교는, 중시를 이용하여 연속적으로 편위 정도를 측정하도록, 양쪽 교각의 안쪽 충돌 방지공 위에 각각 두 개씩의 등대를 앞뒤로 설치하였다. 교각의 등대 설치기준¹⁴⁾과는 어긋나지만, 시각적으로 편위정도를 실시간으로 연속 측정할 수가 있어 아주 효과가 크다.

4.2.4. 표지와 조명의 부재/불량

교량사고의 심각성에 비추어 교량등을 설치하는 것은 물론, 투광기를 사용하여 교각을 조명하는 방법¹⁵⁾, 중시가 가능하도록 교각 전후에 등대를 설치하는 방법, 교각의 하부 선단이나 충돌방지공의 선단을 따라 연속

14) 표지 담당관에 의하면 교각의 중심선상 전후에 설치하여야 한다. 그 경우 교각에 가려서 뒤쪽의 등대는 보이지 않으므로 교각의 전면 앞의 등대에 의하여 단지 교각의 시인을 보조하는 역할만을 할 뿐이다.

15) 투광기에 의한 교각의 자체조명은 야간 경관을 위한 미관 효과뿐만 아니라 시인성 개선에 기여하는 바가 크다. 사용하는 광원의 색깔은 관계가 없다. 아름다울수록 좋은 관광자원도 될 수 있다.

으로 운곽등을 설치하는 방법 (부두의 접현등과 동일한 사양), 교각 중심 선상 전후의 등부표 설치 등 여러 가지 방법으로 안전조치를 하여, 일부의 소등이나 시인 불량에 발생하는 경우에도 이용이 가능하도록 하여야 한다.

4.3 위험의 감소방안

4.3.1. 지방해양항만청 운영세칙의 공시와 홍보

지방특별규칙(Local Authorities, 지방해양항만청 운영세칙 등)은 적절하게 공시하고 홍보하여야 한다. 이용자가 쉽게 알 수 없는 지방특별규칙 위반의 결과 발생한 사고로부터 해당 관리청이 자유로울 수 없을 것이다. 예컨대 교각 폭이 충분하지 못하여 지방청이 고시한 운영세칙상 “일방통행과 예선의 동행”을 규정하는 경우, 이러한 내용을 해도에 시각적으로 표시하기 전에는 선박의 운항자가 그러한 규정을 알기 어렵다. 이용자가 통상적인 주의로서 알기 어려운 정도의 공시는 사실상 공시하지 않은 것과 다름이 없으며, 그 결과 양방향 통행중 사고가 발생하였다면 이를 운항자의 인적과실로 미루고, 관리청이 책임을 회피하고자 해서는 아니 될 것이다.

Fig. 16은 평택항 서해대교의 공시 홍보의 (안)이다. 수로 폭이 400m인 서해대교는 예선을 동행한 일방통행을 규정하고 있으나, 해도에 직접 공시를 하지 않아서 이를 아는 사람이 드물다. 그러나 그림에서 제안하는 바와 같이 해도 상에 시각적으로 직접 표시한다면, 공시와 홍보효과가 분명할 것이다.



Fig. 16 평택항 서해대교 관련 세척의 공시와 홍보 (안)

4.3.2. 교량의 시인성 개선

① 교각 표시를 위한 다양한 시인장치

설치규정에 따른 교량등화는 기본이다. 교량표시 등화 이외에도 투광기를 이용하여 교각 자체를 조명하거나, 교각 보호용 충돌방지공의 선단에 윤곽등을 설치하는 등 여러 가지 표시방법을 병행하여, 중복확인(Counter check)할 수 있도록 하여야 한다. 스모그와 안개 등 기상제한이나, 통항당시의 위치 여건상 선택적으로 이용할 수 있는 여러 가지 방법을 이용할 수 있도록 하여, 교량의 안전한 통항을 지원하기 위함이다.

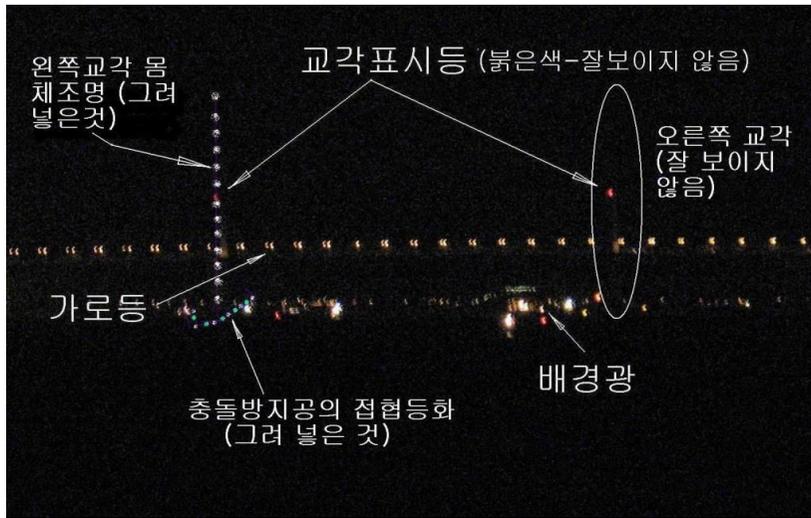


Fig. 17 교각 조명 투광기와 충돌방지공 선단의 윤곽등

반디불처럼 보이는 교량 주탑의 높은 위치에 설치한 표시등은, 교량의 존재를 확인하고 그 부근을 접근하지 않아야 하는 항공기에게는 효과적일 것이나, 그것으로 교량의 교각위치를 확인하고 그 사이의 항로를 향하여 접근해야하는 선박에게 주는 효과는 제한적이며, 시정이 조금만 나빠져도 사용이 어렵다. 더구나 그러한 표시등의 소등상태가 며칠씩 계속되어도, 바람이 없어야 수리가 가능하다는 등의 안일한 관리체제에서는, 이를 믿고 접근하는 것이 오히려 위험할 수도 있다. 좀 더 확실한 교량의 자체조명등과 교량충돌 방지공의 선단에 설치하는 윤곽등, 교량하부의 두 교각의 전후에 등대를 설치하는 등 복수의 교차시인장치가 필요하다. 선박과 교량의 접촉 충돌은 교량 붕괴라는 재앙급 사고 개연성이 있으므로, 다양한 충돌방지 방안과 지원시설을 마련하여야 하며, 어느 한 시스템에 문제가 생겨도 다른 시스템이 그러한 문제를 상호 보완할 수 있어야 한다.

② 교각의 조명과 윤곽등

교량의 전후에는 부두나 도시의 조명이 배경광으로 작용하여 교량등의 시인이 뚜렷하지 않는 것이 보통이다. 시인성 개선을 위하여 부두의 작업

등을 통제하는 것도 저항이 클 것이다. 교각의 시인성을 개선하는 시설로는, 투광기를 이용한 교각의 조명과, 교각충돌 방지공의 선단에 설치하는 윤곽등이 효과적이다. 투광기를 이용하는 교량의 조명은 교량의 미관에도 크게 기여를 하며, 윤곽등은 교량등이나 다른 시인 장치를 볼 수 없는 교량의 근접거리를 통행중일 때도 안정적으로 교각이나 충돌방지공의 선단을 보며 이격거리를 확인할 수 있는 시설이다. 특히 안개로 인하여 시정이 좋지 못할 경우 레이더에 나타나는 두 교각의 중심을 맞추고 통행할 때, 교각에 근접한 위치에서 안전을 확인하며 심리적인 안정을 가질 수 있는 효과적인 시설이다.



Fig. 18 청명한 암야에만 보이는 교각 표시등

③ 교각 표시용 등표 (중시등)

교각 표시용 등표를 양쪽 교각의 중심선상 전후에 각각 설치하는 것은, 교각의 존재확인 이외에 다른 효과가 없다. 통행 중에 적어도 한쪽의 등표는 교각에 가려 보이지 않기 때문이다. 교각이나 교각보호용 충돌방지공의 존재를 경고하는 등표는, 향로로부터 가까운 교각의 안쪽 선단에 설치함이 효과적이며, Fig. 19 및 Fig.20의 경우와 같이 전후 등표의 중시선을 이용하는 중시등(重視燈)으로 사용할 수 있도록 함이 합리적이다. 향로

를 항행중인 선박이 양쪽 교각의 전후 등표 정렬이나 정렬의 변화를 보고, 자신의 위치가 교각의 중심선상으로부터 얼마만큼 편위되어 있는지, 또는 등표 정렬의 변화를 연속적으로 관찰하여 선박이 압류가 발생하고 있는지의 여부를 판단할 수 있기 때문이다. 이곳에 등표를 설치한 목적은 교각의 시인과 교각에 선박이 근접하는 것을 예방하는 것이므로, 교각의 항로 쪽 선단에 설치하도록 설치 규정을 수정하는 것이 바람직하다.



Fig. 19 교각표시용 등표의 중시등 역할



Fig. 20 교각 표시용 중시 등표의 이용사례

4.4 피험대책과 안전통항 기법

4.4.1 통항 전 점검

① 선체 높이(Air draft)의 기록 및 선장서명

어떤 일이던지 같은 일을 반복하다보면 매너리즘이 생길 수 있고, 매번 하던 일이니 별일이 없으려니 하거나 다른 일에 정신을 빼앗겨서 주의 없이 통항하다가 큰 사고가 발생한다. 그러한 매너리즘을 예방하기 위하여, 선박에 승선직후에 작성하는 도선확인서(Fig.21)에 선체높이(Air draft) 기재란을 만들어 선체의 높이를 기입하고 확인하는 절차가 효과적이다.

CERTIFICATE OF PILOTAGE			
CERT NO. _____	DATE _____		
THIS IS TO CERTIFY THAT LICENSED PILOT, CAPT. _____			
HAS PILOTED THE MV (MT) _____			
CALL SIGN. / IMO NO. _____	SUBJECT TO PILOTING CONTRACT.		
AIR DRAFT _____ m			
AGENT _____	GRT _____	DEEPEST DRAFT _____ m	
AREA FROM _____ TO _____		TIME FROM _____ TO _____	
OWNER/OPERATOR _____			
COUNTRY. _____	FAX. _____	TEL. _____	
REMARKS : _____			
<input type="checkbox"/> MAIN-PILOT	<input type="checkbox"/> CO-PILOT	<input type="checkbox"/> BERTHING	<input type="checkbox"/> UNBERTHING
<input type="checkbox"/> SUNDAY / HOLIDAY	<input type="checkbox"/> NIGHT / MIDNIGHT	<input type="checkbox"/> WAITING (-)	<input type="checkbox"/> CANCELLING
<input type="checkbox"/> DANGEROUS CARGO	<input type="checkbox"/> DEADSHIP (-)	APPROVED BY _____	
<input type="checkbox"/> RISKS ()	<input type="checkbox"/> LOW SPEED (KTS)		
<input type="checkbox"/> URGENT ()	<input type="checkbox"/> AGREEMENT / EXCEPTIONAL (STORM, LS, 300%	MASTER _____	
<input type="checkbox"/> SPECIAL ()			

Fig. 21 도선 확인서의 선체높이(Air Draft) 기입란

30여년전 싱가포르의 관광지인 센토사 섬의 Esso 터미널로 가던 대형유조선이, 이곳에 설치되어 있던 케이블카의 케이블을 절단하고 지나가면서, 수 십대의 케이블카가 추락하고 대형 인명사고가 난 예가 있다. 그동안 Esso 터미널에 입항하던 대형 유조선(VLCC)들은 화물을 만재한 상태였으므로 그러한 문제가 발생되지 아니하였으나, 해당선박은 예외적으로 공선

상태로 입항을 하여, 만재한 경우보다 선체높이(Air draft)가 10여 미터나 높은데도 불구하고, 별 다른 주의없이 케이블의 높이가 낮은 센토사 섬 쪽 항로에 근접하여 통항을 하는 실수가 겹쳐서 발생하였다. 관리청인 PSA의 여러 사람이 문책을 당하고, 싱가포르의 도선제도가 바뀌었던 유명한 사건이다. 모든 교량 통항선이 반드시 도선 확인서에 선체높이(Air draft)를 기재하고 서명하는 절차는, 그러한 사고의 예방을 위하여 효과적이고 중요하다. 사고 위험을 알고도 사고를 낼 수는 없기 때문이다.

② 동시간대 출입항 선박의 점검

교량 통항선박은 다른 선박의 출입항 스케줄을 점검하여, 교량의 근처에서 마주칠 우려가 있는 선박이 있는지를 확인하고, 그러한 선박이 있는 경우, 특히 조종성이 둔중한 대형선박의 통항이 동시각대에 발생할 우려가 있는 경우는, 가급적 교량의 근처에서 병항하거나 마주치지 않도록 선속을 조정하거나, 출항 선박의 경우는 출항시간을 조정하여야 한다. 특히 출항 선박이 출항 예비통보를 할 때 관제실(VTS)은 입항선박의 존재를 알려주고, 교량의 근처에서 조우하지 않도록 출항선박의 출항시간을 조정하는 것이 바람직하다.

4.4.2. 교량통항 계획

① 감속 스케줄

미리서 감속을 하여, 교량부근에서는 오히려 전진 기관을 사용하며 통항하여 프로펠러의 가속수류에 의한 타효의 개선을 시도하여야 한다. 5천 톤급 이하의 소형 선박은 마일당 5노트, 파나막스급 이상 대형선은 마일당 3노트, 케이프급은 마일당 2노트의 자연감속을 기준으로 감속스케줄을 잡으면 적당하다. 교량 부근에서 기관정지나 시동을 지양하는 감속스케줄을 가져야 한다.

② 경로 스케줄

교량하부를 통항하고자 하는 선박은, 적어도 교량 통과전 4L 이상의 거리에서 교량하부의 항로에 정침을 하고, 이후 가급적 큰 각도의 변침없이 미세 수정만으로 교량의 하부를 통과하여야 한다. 교량에 근접하여 변침을 한 직후에 교량을 통항하는 것은 위험한 방법이다.

③ 프로펠러 가속수류를 이용한 조종성 회복

교량의 통항직전이나 통항중 타효가 부족하면, 즉각 기관을 기동하거나 일시적인 증속을 하고 프로펠러의 가속수류를 이용하여 타효를 개선하여야 한다. 안전한 방향으로 정침 또는 피험을 한 후에, 감속은 그 다음의 조치이다. 그러한 조치는 가급적 조기에 적극적으로 하여야 한다. 시기를 놓치면 변침도 감속도 모두 어렵게 된다.

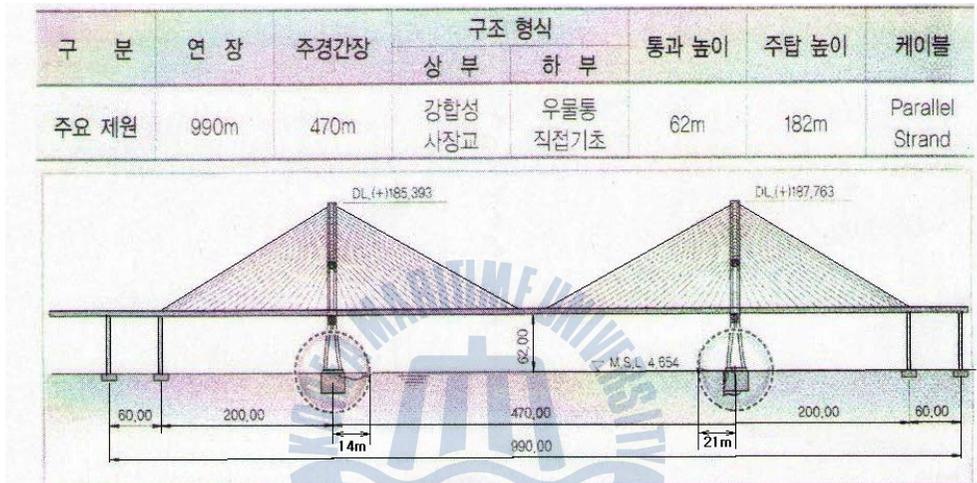
④ 교량부근 다른 선박과의 항법 통신

육상 도로교통과 달리 선박의 항해는, 통상 항법 이외에도 협의항법이나 항법의 이탈을 허용하고 있다. 조종성이 둔중한 선박의 특성상 좌현대 좌현 항과 뿐만 아니라, 실행가능하고 안전한 한 항로의 좌측으로 항해하거나 다른 선박과 우현대 우현 항과를 할 수가 있으며 할 수도 있다. 그러나 교량의 부근과 같은 위험성이 큰 지역에서는 가급적 좌현대 좌현의 원칙을 준수하여야 한다.

일방통행이 불가피한 교량부근에서, 항법관계 거리 (2~3마일) 이내의 선박은 우선진입선박 우선통항이 아니라, 출항선박 우선을 원칙으로 하여 좁은 수역의 혼잡도를 줄임은 물론, 선박간의 논쟁이나 서로 다른 주장의 소지가 없도록 하여야 한다. 시간적 여유가 없이 위험이 접근하기 때문이다. 다만 합리적인 이유가 있는 경우, 선박 상호간의 합의가 있으면 그에 따르게 함이 좋다.

상호 항로의 우측을 따라 항해를 하며 좌현 대 좌현이 명백한 경우를

제외하고, 교량부근에서 조우하는 모든 선박은 VHF 관제채널에서 상호간 항법통신을 하여 심리적 안정감을 갖게 하고, 예측불허가 발생하지 않도록 하여야 하며, 관제실은 선박간 교신이 없는 경우 호출하여 상호 존재를 알리고 교신을 유도하여야 한다.



※ 통과 높이 62m로서 5만 톤급 선박이 입출항 가능 통항수역폭 400m

Fig. 22 서해대교 제원

4.4.3 예선준비와 사용

교량부근의 부두에서 출입하는 선박은 교량의 통항 전에 미리 예선을 잡고 교량을 통항하여야 하며, 출항선박은 예선을 동행하고 교량을 통항한 후 예선을 해지하여야 한다.

① 교량 통항 전 동행하며 줄을 잡음

교량도착 전에 동행을 하며 예색을 잡아야 한다. 중소형 선박은 적어도 교량통행 1마일 이전에 예색을 잡고 동행하여야 하며, 대형 선박은 2마일 이전부터 동행하며 예색을 잡아야 한다. 예기치 않은 이유로 예색을 잡는

일이 늦어질 수도 있음을 감안하여야 한다.

② 전심(PP)의 이해와 선수예선 사용위험

출항선박은 적어도 교량의 하부 통과직후까지 선미예선의 예색을 잡은 채 통항하여야 한다. 다만 중소형 선박의 교량 통항선속이 4~5노트 이상이 예상될 경우는, 선미예선만 줄을 잡고 통항함이 효과적일 수도 있다. 전심으로부터 먼 거리의 선미예선은 효과적이지만, 전심으로부터 가까운 선수 예선은 효과가 적고, 오히려 예선저항과 유체역학력에 의하여 발생하는 선체회두의 위험 등, 그 사용이 쉽지 않기 때문이다. 예선을 본선의 선미 방향으로 당겨서 감속을 하고자 할 때는, 반드시 본선의 회두를 수반하지 않는 선미예선을 먼저 시도하여야 한다.

4.4.4 돌발 상황 대응

① 잠종선의 선수횡단 금지

교량 부근에서는 교량하부의 항로를 따라 항행하는 대형선박에게 엄격한 우선권을 부여하도록 관리청의 세척을 정비하여야 하며, 잠종선박의 횡단금지를 세척상에 천명하는 것이 필요하며, 군함이나 해경 등 관용선도 작전을 이유로 예외를 인정해서는 아니 된다. 군경의 예외를 인정하지 않는 엄격한 규정이 필요한 것은, 교량 위의 많은 생명과 SOC의 보호가 무엇보다 우선이기 때문이다.

② 변침 피험의 지양

교량부근에서 횡단선박을 피하기 위하여 함부로 대각도로 변침하는 것은 위험하다. 기적과 투광기로 우선 경고를 하고, 좀 더 감속하거나, 실행 가능하고 교각과의 접근 없이 안전한 경우에만 소각도 변침으로 피험을 시도하여야 한다.

③ 기관의 역전 후진 지양

교량 근접거리에서 기관의 후진이나 대각도 변침은 차선책 또는 최후의 선택임을 이해하고, 사전에 단계적 감속이나 발생 가능한 위험을 재확인 하여야 한다. 특히 항행 중 교량의 근처에서 후진기관을 사용하는 것은 선회 감속위험이 있으므로, 불가피한 경우를 제외하고는 실행하지 않아야 한다.

④ 출항선박 우선통항

교량하부의 통항로가 일방통항일 경우에, 항법관계의 성립이 가능한 항양선박 간에는 선박의 크기에 관계없이 출항선이 우선하도록 항만운영세칙에 선언적으로 천명하여야 한다. 교량의 하부에서 마주칠 우려가 있는 경우, 양방향 통항으로 좌현대 좌현 항과의 자세가 분명한 경우에도 VHF 교신을 하여 상호 항법을 확인 절차를 이행하여야 한다. 만에 하나의 실수나 예측불허를 예방하고, 심리적인 안정을 기하는 것이 통항안전의 중요한 요소이다. 시정이 양호한 야간에는 레이더의 이중 확인이 소홀할 수 있으며, 부두나 도시의 배경광으로 인하여 입항선박이 출항하는 다른 선박의 존재자체를 확인하지 못하는 경우도 있기 때문에, 존재확인 절차 겸 항법확인을 하는 절차가 중요하다.

4.4.5 인위적 요인 (인적요인, Human Error)

① 신침로(변침로) 구령위험

교량부근에서 5도 이상의 신침로의 정침구령 (Steady order)은 지양하여야 한다. 신침로의 정침구령을 하는 것은 타수에게 사용타각을 맡기는 행위이며, 대개의 경우 소극적으로 조심조심 조금씩 변침을 하여 변침이 늦어져서 적절한 변침기회를 놓치거나, 결과적으로 교량에 근접하여 더 큰 각의 변침이 필요하게 된다.

저속통항을 하는 교량부근에서는 타압이 그리 크지 않으므로 과감하게 타각을 사용하고, 그 효과를 신속하게 검증하지 않으면 적당하고 안전한 조종기회를 놓칠 수 있다. 선장이나 도선사가 필요한 타각을 직접 구령하고 일정 침로를 유지한 정침 구령을 하여야 한다.

② 타각의 확인

넓고 안전한 곳에서는 잘하던 타수도, 갑문입구나 교량의 하부 등 민감한 위치에서는 긴장을 하기 쉽고, 구령과 달리 반대 타각을 사용하는 일이 많다. 예컨대 “좌전타” 구령에 대하여 좌전타(Hard port)를 복창을 하고서도 타기는 우전타(Hard starboard)로 사용하는 일이 종종 발생하며, 선장이나 도선사 또한 자신의 생각과 달리 구령은 반대로 할 수도 있다. 조선자는 지시한 타각을 바르게 사용하는지 타각지시기를 확인하여, 자신이나 타수의 오류를 실시간 확인하는 습관을 가져야 한다. 위험한 위치에서 타각을 반대로 사용하여 선박이 지시한 방향과 반대로 선회하는 것을 보고서 다시 수정타각을 지시하는 경우, 즉각적인 위험이 발생하는 것을 사전에 경계하기 위함이다. 사고발생 이후 원인을 규명하고 재발 방지대책을 마련하는 것은 쉽지 않은 일이다. 일단 사고가 난 후에는 모두가 자신의 방어를 위하여 진실만을 얘기하지는 않기 때문이다. 사고가 나기 이전에 사고의 예방대책을 연구하고, 효과적인 시행방안을 마련하는 것이 중요한 것은 이러한 이유 때문이다.

제5장 결론

교각의 폭이 좁던 넓던 다양한 원인에 의하여 교량과의 충돌·접촉사고의 개연성은 있으며, 교량의 붕괴는 심각한 사회적 재앙 수준의 결과를 가져올 것은 자명한 만큼, 교량 통항안전대책에 관한 해당 항만의 관리청이나 해양수산부 주도의 조직적인 연구와 대책 마련이 필요하다. 이를 위해서는 통항안전과 사고예방을 위한 중요 사항들을 관리청의 세칙에 규정하는 등, 교량 부근에서의 충돌 방지 및 해양사고를 방지하기 위한 능동적이고 적극적인 방안 강구가 필요할 것이다.

이러한 연구의 일환으로서, 본 논문에서는 대형선박의 조종방법에 관한 실무경험을 바탕으로 환경과 선박조종술을 연구하고 정리하여, 교량 부근에서의 선박과 교량의 충돌위험을 줄이기 위한 실용적인 방안을 제시하고자 하였으며, 내용은 다음과 같이 요약할 수 있다.

5.1 선박 조종성 연구

관리청이나 정부 주도로 선박의 조종성에 대한 연구와 교량의 통항 안전절차를 협의하고 홍보하여 통상적인 안전절차를 마련함은 물론, 기상으로 인한 비상한 압류나 소형선박의 횡단 등에 대한 대응책과 관제규정을 마련하여야 한다.

5.2 현장 적용의 검증과 안전절차의 세칙화

현장의 사정에 밝고 경험이 많은 이용자들을 대상으로, 연구된 조종성과 안전절차를 검증하여 현실성과 효율성을 검토하여, 소속한 항만의 관

리칭 세칙과 관제규정으로 확립하고 공시함은 물론, 중요사항은 해도에 직접 표시하는 등 효과적인 방법으로 홍보를 하여야 한다.

예컨대 예선을 동행해야 한다던가, 교각의 폭이 충분하지 못하여 일방 통행을 하여야 하는 규정 등과 같은 중요사항은, 해도에 직접표시를 하여 모든 이용자가 알 수 있도록 하여야 한다. 모든 통항선박이 적어도 해도는 구비하고 있으며, 통항 전에 적어도 해도는 확인하기 때문에 그 공시 효과는 확실하다.

5.3. 교량통항 절차와 관제기법의 연구

① 교량의 안전 통항속력

교량의 통항 속력은 조종성이 유지되는 적당한 속력으로 통항하도록 하여야 한다. 적당한 속력이라 함은 가능한 저속을 의미하는 것은 아니며, 선속이 빠를수록 외력의 영향이 적고 조종성이 좋아지는 것을 고려하여야 하며, 예외적인 충돌시에 교각의 충돌 방지공을 지나 교각과 직접 접촉하지 않는 운동량이 조건이므로, 선박의 크기에 따라 다르게 적용할 수 있다.

② 초과 선박의 안전대책

조종성이 유지되는 속력에서 운동량이 교량 충돌 방지공의 용량을 초과하는 선박은, 선미 감속예선 (Tail tug) 사용을 의무화 하고, 조종성이 유지되는 적정속력으로 통항하도록 하여야 한다.

③ 교량통항 우선순위 정립

일방통행이 불가피한 교량부근에서, 항법 관계거리인 2~3마일 이내의 선박은 우선진입선박 우선통항이 아니라 출항선박 우선을 원칙으로 하여 좁은 수역의 혼잡도를 줄이는 것은 물론, 선박 간 논쟁이나 서로 다른

주장의 소지가 없어야 한다. 다만 선박 상호간의 합의가 있는 경우 그에 따르게 하여야 한다.

④ 교량부근 추월금지

교량의 전후 2~3마일 이내에서 추월은 엄격히 금지하여야 한다. 교각 사이 항로의 폭이 $3L+2B+@$ (L은 실제 통항선박의 길이, B는 통항 선박의 폭)에 미달하는 경우 일방통행이나 시차 통항을 유도하거나 권고함이 바람직하며, $2L+2B+@$ 에 미달하는 경우는 엄격하게 일방통행을 하도록 하여야 한다.

⑤ 예외적인 사정발생시 일방통행 유도

양방향 통항이 허용되는 교각 폭이라 하더라도, 시정제한이나 강풍 등 기상이 불순할 때는 양방향 통항을 자제하고, 일방통행과 시차통항을 유도하여야 한다.

⑥ 사전 정보제공

관제실은 교량의 안쪽 부두에서 출항하는 선박의 예비 출항 통보시에, 교량 안쪽으로 들어오는 입항선에게 미리 정보를 제공하여 대비하게 하고, 필요한 경우 상호교신을 하도록 하여야 한다.

⑦ 항법통신과 심리적 안정

교량부근에서 조우하는 모든 선박은 VHF 관제채널에서 상호간 항법통신을 하여 심리적 안정감을 갖게 하고, 예측불허가 발생하지 않도록 하여야 하며, 관제실은 선박간 교신이 없는 경우 호출하여 상호 존재를 알리고 교신을 유도하여야 한다.

⑧ 법 규정과 세칙의 효과적인 홍보

일방통행이나 예선 동행 등 기본적인 규칙은 해도에 공시하여 모든 선박이 알 수 있도록 하여야 한다. 규칙을 정하고도 분명하고 효과적인 방법으로 공시하지 않는 것은, 관리청의 직무태만으로 볼 수가 있다.

⑨ 소형선박과 갑종선에 의한 돌발상황 예방대책

항내뿐만 아니라 항외의 교량도, 갑종선이나 통항 불방해 의무선의 규정을 엄격하게 준수하도록 철저한 관리하여야 한다. 교량 부근에서 소형선박이나 갑종선이 대형선박의 진로를 함부로 횡단하는 돌발상황을 피하는 과정에서, 대형선박과 교각의 충돌위험이 발생하는 것을 방지하기 위해서는, 그러한 위험한 사건이 발생할 때마다, 실제 손해여부를 불구하고 예방차원에서 해당 소형선박이나 갑종선의 선장을 관리청에 호출하여, 사정을 확인(서면상으로 제출)하고 위험을 설명하여 재발방지 대책으로 삼아야 한다. 관제실에서 통신상으로 주의를 주는 일과성 대응이나, 일단 사고는 없었으니 넘어가자는 식의 안이한 대응은 재발의 원인이 될 수 있으며, 그러한 준사고 또는 아차사고가 반복되다가 재앙급의 사고가 발생하는 것이 “하인리히 법칙”¹⁶⁾이다.

16) 미국의 보험사 직원 하버트 하인리히는 보험사고 통계를 정리하여 중요한 법칙을 발견하고 이를 1931년 <산업재해예방 ; 과학적 접근>이라는 책을 통해 소개하였다. 하나의 대형사고가 발생하기 전에 이와 관련이 있는 작은 사고가 29번이 발생하였으며, 작은 사고 한건이 발생하기 전에 사소한 징후, 즉 예고가 300번이나 있었다는 것이다. 작은 실수나 징후를 방치하면 반드시 큰 사고가 발생한다는 것을 알리는 고전이다.

참고문헌

- [1] 김진동, 2005. 제3판 항내항법과 판례해설.
- [2] 대한조선학회, 2011. 조선기술 배 만들기의 모든 것. 지성사. 서울.
- [3] 박진수, 박영수, 이형기 2010. (최신)해상교통공학. 다솜출판사. 부산.
- [4] 박영수, 이윤석, 박진수, 조익순, 이은, 2008. 항만횡단 해상교량의 해양사고 관련 인자분석을 통한 교량 설계안 제안 한국항해항만학회지 32(10). pp. 743~750.
- [5] 박진수, 2007. 해상교량 건설시 해상교통안전 확보방안 (제22차 해양사고 방지 세미나 발표논문집
- [6] 박영수, 박진수, 고재용, 정재용, 이은 2005. 해상교량 건설을 위한 선박통항 안전성 검토요소에 관한 연구-1 한국항해항만학회지 29(1). pp. 71~75.
- [7] 윤병원, 2011. 선박과 교량의 충돌예방을 위한 조종술 연구 한국항해항만학회 2011년도 춘계학술대회 발표 문집. pp. 66~69.
- [8] 윤점동, 2013. 선박조종의 이론과 실무. 세종출판사
- [9] 윤점동, 2002. VLCC조종의 이론과 실무. 세종출판사
- [10] 이승진, 2011. 선박운동역학. 부산대학교출판부. 부산.
- [11] 이윤석, 박영수, 이은, 정창현, 박진수, 2009. 해상교통안전을 고려한 해상교량의 적정위치 및 규모에 관한 연구 한국항해항만학회지 33(5). pp. 295~301.
- [12] 이윤석, 조익순, 박영수, 박진수 외, 2009. 국내 횡단항만 해상교량의 건설절차 분석 및 개선방안 해양환경안전학회지 15(2). pp. 119~125.
- [13] 이춘기, 2013. 방과제 형상 연직구조물 부근을 항행하는 대형선박에 미치는 간섭력에 관한 연구 한국항해항만학회지 37(4). pp. 345~350

- [14] 이춘기, 2013. 대형선박에 미치는 측벽영향에 관한 실험 연구 *한국항해항만학회지* 37(3). pp. 251~256
- [15] 평택·당진항 도선사회, 평택당진항 도선안전기준 2012
- [16] 한국해양대학교 해사산업연구소, 2007. 항만횡단 해상교량 건설시 기준 및 절차수립 연구용역보고서. 해양수산부
- [17] Davis, A.M.J, 1986. Hydrodynamic Effects of Fixed Obstacles on Ships in Shallow Water *Journal of Ship Research*, Vol.30. pp.94-102
- [18] Kijima, K. and Qing, H, 1987. Manoeuvring Motion of a Ship in the Proximity of Bank Wall *Journal of the Society of Naval Architects of Japan*, Vol. 162. pp.125-132
- [19] Taylor, P.J, 1973. The Blockage Coefficient for Flow about an Arbitrary Body Immersed in a Channel *Journal of Ship Research*, Vol. 17. pp.97-105
- [20] Yeung, R.W. and Tan, W.T, 1980. Hydrodynamic Interactions of Ships with Fixed Obstacles *Journal of Ship Research*, Vol. 24. pp.50-59
- [21] Yasukawa, W, 2002. Ship Manuevering Motions in the Proximity of Bank *Trans. of the West-Japan Society of Naval Architects*, Vol.104. pp.41-52.