

대형 조선소 타 장치 설계 프로세서 비교 및 분석에 의한 표준 타 장치 설계 프로세서 제안

김상현*, 김현준^{†**}, 전희철**, 윤승배**

인하대학교 기계공학부 선박해양공학전공*
인하대학교 대학원 선박공학과**

A Study on Optimized Rudder Design by Comparison and Analysis of
Design Process of Rudder Device.

Sang-Hyun Kim*, Hyun-Jun Kim^{†**}, Hee-Chul Jun** and Seung-Bae Yoon**

Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Inha University*
Dept. of Naval Architecture, Graduate School of Inha University**

Abstract

Recently, a very large vessel's maneuvering performance, rudder performance and rudder design's importance is considered to be an important subject. There have been few studies on the design process of rudder device before. The aim of this paper is to investigate a design process of rudder device and to propose a generalized design process of rudder device. Firstly, we investigated the rudder device design process of Korean major shipyards. And the differences of a torque calculation method, rudder section design, maneuvering performance examination method, etc were analyzed theoretically. Secondly, the design process of rudder device was divided into concept design, initial design and detail design. In concept design, a rudder area was estimated and its validity was examined. In initial design, rudder profile and design method has been selected through rudder form determination process. And principal dimension and steering gear capacity were determined. Maneuvering performance was also examined by simulation tool. In detail design, design criteria considered in rudder initial design has been investigated thoroughly. Also a rudder torque, rudder cavitation performance and rudder structure analysis were estimated. And maneuvering performance was also examined by model test. Finally, based on the results of investigation, the design process of rudder device was generalized and proposed.

※Keywords: Rudder design process(타 설계 과정), Rudder cavitation(타 캐비테이션), Maneuvering performance(조종성능), Steering gear capacity(조타기 용량), Simulation(시뮬레이션)

1. 서론

최근 선박의 좌초 및 추돌 사고로 인한 해상오염이 심각해짐에 따라 대형선박의 조종성능 향상에 대한 국제적 관심과 중요성이 증대되고 있다. 이에 따라 국내외 연구 기관 및 대학, 기업체에서는 성능이 우수한 타를 연구, 개발을 하였고, 또한 현재도 진행 중에 있다. 그러나 현시점에서 타의 성능 향상을 위한 실험적인 연구는 수행되고 있으나, 타 설계 과정에 대한 체계화되고 일반화된 프로세서가 없다. 본 연구에서는 타 성능 향상을 위해 일반화된 타 설계 프로세서를 만드는 데 의의를 두고, 대형 조선소의 설계 프로세서를 비교 및 분석하여 타 설계 시 기준이 될 수 있는 타 설계 프로세서를 제안하고자 하였다.

2. 대형 조선소 타 장치 설계 비교 및 분석

2.1 타 장치 설계 시 일반적 고려사항

대형 조선소에서 타 장치 설계 시에 공통적으로 고려하는 사항은 선박의 조종성능 · 프로펠러(propeller) 장착 및 제거 가능성 · 타를 제어할 수 있는 조타기 용량(steering gear capacity)의 결정 · 캐비테이션(cavitation)에 의한 침식 회피 등이며, 부가적으로 A 조선소는 스펙(spec)상의 선주의 요구사항을 만족 여부와 균형비(balance ratio)가 선급 가이드스(guidance), 내부설계 규칙을 만족하는지를 판단하여 설계 하였다. 또한 타의 최대 하중과 축 중심에 대한 모멘트(moment)를 고려하여 타두재(rudder stock)의 강성을 만족하는 축 직경의 선택 여부 등을 설계 시 고려하였다. B 조선소는 타 장치의 경량화 · 초기 결정된 타 형상을 기준으로 한 설계인지 여부 · 동일 조타기 용량(steering gear capacity)에서 높은 양력(high lift)을 발생시킬 수 있는 타인지를 고려하여 설계 하였다.

2.1.1 타 장치 설계 시 선급 승인의 주요 내용

대형 조선소에서의 타 장치 설계 시 선급 승인의 주요 내용을 비교해 본 결과 타 판 및 타두재

(rudder stock)의 두께와 재질이 타와 혼(horn)에 걸리는 토크(torque)와 타력(rudder force)을 견딜 수 있는 강도(strength)인지 여부가 선급 승인의 주요 내용들이었으며, 그 중 타두재(rudder stock)의 경우 세부적으로 핀틀(pintle), 베어링 부쉬(bearing bush), 슬리브(sleeve)등을 모두 고려하였다. 또한 타 장치 설계 시 선급 승인의 주요 내용으로는 단조가공(Forging)과 주물(casting) 재질 및 용접부위에 대하여 고려하며, 특히 주물(casting) 재질에 대하여 타-혼 주물 부(rudder horn casting) · 선미 보스 축 주물 부(stern boss casting) · 타 상부와 하부 주물 부(rudder upper and lower casting) 등의 강도(strength)를 고려하는 것으로 확인 되었다.

2.1.2 조타기 용량(steering gear capacity) 산정 기준

조타기 용량 선정은 선박의 최대 속도, 타 면적, 균형 비(balance ratio)등에 큰 영향을 준다. 각 조선소에서의 조타기 용량 산정 기준은 A사의 경우 선급 기준과 실적선 자료 등으로 추정된 토크를 만족해야 하며, 메이커(maker) 사양, 배치 공간에 따라 달라지는 것으로 확인 되었다. B사의 경우에는 Jossel-Beaufoy법과 DnV 룰(rule)로 산정한 최대 토크 값 중에서 경험적으로 유사한 값을 선택하며, 실적 최대용량은 1000ton-m인 것으로 확인 되었다. C사의 경우는 조타기 용량과 가격이 비례하기 때문에 적정 수준에 맞추어 경제적으로 선택하는 것으로 확인 되었다.

2.1.3 틈새간격(gap clearance)과 타-프로펠러 거리 결정

실적선의 타 장치에서의 가동부와 고정부 사이의 틈새 간격은 공통적으로 50mm이며, 틈새(gap)의 캐비테이션을 최소화해야 할 필요성이 있는 일부호선은 35mm를 적용하는 것으로 조사되었다. 또한 타와 프로펠러와의 적정거리는 프로펠러에서 발생된 캐비테이션이 타에 영향을 주어 침식이 일어나지 않도록 충분한 거리를 두어야 하며, 프로펠러 탈착이 가능한 거리가 되도록 조절한다.

2.2 대형 조선소 타 장치 설계 프로세서 비교

대형 조선소의 타 장치 설계 과정에는 큰 차이가 없지만, Fig. 1과 같이 타 토크 계산 순서, 타 형상 결정 과정, 조종성능 검토 방법, 개념 설계 고려사항에 미세한 차이가 있는 것으로 조사되었다. Fig. 1은 조선소 설계 프로세서의 차이점을 네 가지로 분류한 것이다.

Order of rudder torque calculation
Determination of rudder form
Examination of maneuvering performance
Considerable factors for concept design process

Fig. 1 Difference of shipyard design process

2.2.1 타 토크 계산 순서

타 토크 계산 과정은 조타기 용량 산정의 기준이 되며, 대형 조선소 타 장치 설계 프로세서의 첫 번째 차이점은 타 토크 계산 순서에 있다. A, B조선소에서는 타의 형상이 결정되면 타 토크를 계산하며, 다음으로 조종성능을 simulation을 통해 검토한다. C, D조선소는 조종성능 simulation 후 타 토크를 계산하며, 결정된 타 토크가 유사선과 비교하여 적절한지 검토한다. A, B조선소의 경우는 타의 성능 평가 시 타의 형상 및 크기만을 가지고 조종성능을 검토하며, C, D조선소는 타의 형상 및 크기 뿐 아니라 조타기 용량에 의한 조종성능도 검토하기 때문에 타 토크 계산 순서에 차이가 난다고 생각된다.

2.2.2 타 형상 결정 과정

타 형상 결정 과정은 전 가동타, 혼-타, 일반타, 특수타, 타의 단면 등을 정하는 과정이다. A, B 조선소의 경우 타의 형상 결정을 타 설계 과정 중에 가장 먼저 수행한다. C, D조선소는 타 면적을 추정한 후에 타의 형상을 결정한다. 위와 같은 차이는 타의 주요한 특징인 가로-세로비(aspect Ratio)와 균형비(Balance Ratio)의 결정 순서에 영향을 주지만, 타 설계 결과에 미치는 영향은 없는 것으로 판단된다.

2.2.3 조종성능 검토 방법

세 번째 차이점은 조종성능을 검토하는 방법이다. 조종성능을 검토하는 방법은 크게 실적선 데이터베이스에 의한 방법, 모형 시험에 의한 방법, 조종수학모형을 이용한 시뮬레이션(Simulation)에 의한 방법으로 나눌 수 있다. 이 중 모형 시험에 의한 방법과 시뮬레이션(Simulation)에 의한 방법에 차이가 있다. 먼저 모형 시험에 의한 방법은 각 조선소마다 실험 수조 환경의 차이에 기인한 것이다. A 조선소의 경우 400(L)×14(B)×7(D)의 Towing Tank를 가지고 있으며, 저항시험, 자항시험, POW 시험 및 PMM 시험 등을 하고 있다. 나머지 조선소들은 실험 수조를 보유하고 있지 않기 때문에 해양 시스템 안전 연구소에 의뢰해서 시험을 수행하고 있다. 또한 시뮬레이션(Simulation)에 의한 방법은 모든 조선소에서 수행하고 있지만, 조종성능 추종기술과 관련해서 각 조선소마다 다른 방식을 사용하기 때문에 차이가 나는 것으로 생각된다.

2.2.4 개념 설계 시 고려사항

네 번째는 개념 설계 시 고려사항이다. 개념 설계에서는 선주의 요구사항에 적합한 설계안을 만들어야 한다. 현재 대형 조선소에서는 방대한 데이터베이스를 기반으로 해서 선박을 제작하고 있다. 이에 따라 유사 실적선의 정보를 파악하는 것이 중요하며 선주의 요구사항과 선급 기준을 확인하는 것 또한 필요하다. 각 사항들에 대해서 조선소마다 조금씩 차이가 있다.

A 조선소의 경우, 유사 실적선의 주요요목 · 선형요소 · 타 면적 · 조타기 용량 · 조종성능 등을 파악하는 단계를 개념 설계 단계로 볼 수 있다. B 조선소의 경우, 주요요목 · 타 면적 등을 추정하고, 선주의 요구조건 · 선급기준 등이 유사 실적선과 비교하여 타당한지를 평가하고 선회성 지수 K 와 추종성 지수 T 를 추정하는 과정으로 이루어진다. C, D조선소도 유사선의 길이(L), 폭(B), 흘수(d), 방형계수(C_b)와 설계속도 등의 주요요목을 파악하여, 설계선의 타 면적을 추정하는 과정이 개념 설계시 고려되어야 하는 사항이다.

각 조선소의 개념 설계 시 고려사항들은 유사

실적선의 정보를 이용하여 타의 면적을 추정한다는데 공통점이 있으나, 개념 설계 시 선주의 요구 조건 · 선급 기준등의 검토, K , T 추정을 통한 설계선의 조종성 확인 등 과정이 포함된 것에 차이가 있다.

2.3 타 설계 과정

앞에서 각 조선소의 설계 과정을 비교 · 분석하였고, 지금부터는 타 장치를 설계할 때 기준이 될 수 있는 타 설계 프로세서를 제안하겠다.

타 설계 과정을 명확하게 분류하기 위해 설계 과정을 Fig. 2와 같이 개념설계, 초기설계, 상세설계로 나누었다.

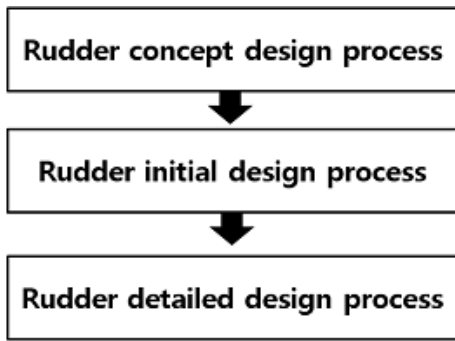


Fig. 2 Rudder design process outline

3. 타 개념 설계 프로세서

본 연구에서 제안하는 타 개념설계 프로세서는 설계 요구에 적합한 설계안을 만들어내는 과정이 무엇보다 중요하다는 것에 주목하여, Fig. 3과 같이 유사 실적선의 주요 제원 · 선형 요소 · 조타기(stearing gear)타입 · 타 면적 · 조종능을 파악하여 설계타의 스펙(Spec.)을 결정하고, 이를 기준으로 초기에 타의 형상 및 면적을 추정하는 과정으로 구성하였다. 타의 형상 및 면적은 유사 실적선 자료가 활용 가능한 경우에는 이를 이용하여 추정할 수 있으며, 유사 실적선 자료가 없는 선박의 경우에는 타의 면적 추정 시 타의 형상 변화에 따른 경험식 등을 이용하여 타의 면적을 결정하여야 한다.

추정된 타 면적은 유사 실적선과 비교한 후, 선주의 요구사항 · 선급 기준을 확인하는 과정으로 이루어지며, 마지막으로 선회성 지수 K 와 추종성 지수 T 를 추정하여 개념설계를 완료하는 과정으로 이루어져 있다.

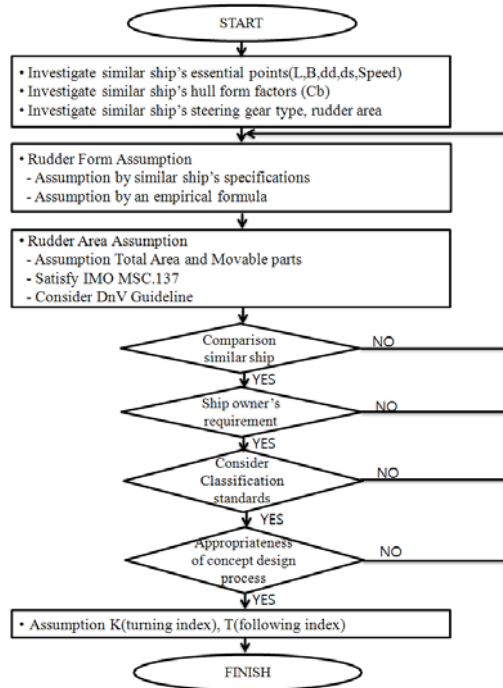


Fig. 3 Rudder concept design flow chart

3.1 유사 실적선 정보 파악

유사 실적선의 주요 제원과 선형 요소를 파악하여 설계선에 맞는 타의 면적을 추정한다. 이는 이미 완성된 여러 가지의 표준선으로부터 선주의 요구에 비교적 가까운 선형을 선택하는 경우가 많고 있는 추세를 반영한 것이며, 선주의 요구 조건에 합당하지 않을 경우 반복(iteration)과정을 통해 최적의 타를 결정하는데 편리하다.

3.2 타 면적 추정

타의 면적 추정은 선박의 선회 성능에 매우 큰 영향을 준다. 면적 결정 방법은 다양하지만, 여기서는 DnV에 의한 추정식과 선박의 크기별로 추정하는 방법을 소개하겠다.

DnV 추정식을 이용하는 방법은 아래와 같다.

$$\frac{A_R}{L \cdot d} = 0.01 + 0.5 \cdot \left(\frac{C_B}{L/B}\right)^2 \quad (1)$$

여기서, 타의 면적(A_R)은 혼(Horn)이 있는 경우 혼을 포함한 면적을 의미한다.

두 번째 방법은 선박의 크기별로 추정하는 방법으로 아래와 같다.

$$A(m^2) = \left(\frac{1}{70} \sim \frac{1}{50}\right) \times (Ld) \quad (2)$$

또한 다양한 선박의 A/Ld의 산정 값을 Table 1에 나타내었다.

Table 1 A/Ld of diverse ships

$\frac{A}{Ld}$	High-speed Liner	1.2~1.7%
	Large Cargo Ship	1.4×(1/70) ~2.0×(1/50)%
	Small Cargo Ship	1.7~2.3%
	Waterside Vessel	2.0~2.3%

3.3 개념설계 적절성 판단

추정된 타 면적을 유사 실적선과 비교하고, 선박의 크기에 적합한 타 크기와 비용적인 측면을 고려하며 선주의 요구조건을 확인한 후, 선급 기준을 확인하여 개념 설계가 적절하게 이루어졌는지를 확인한다.

3.4 K(선회성 지수), T(추종성 지수) 추정

개념설계의 마지막 과정으로 선회성 지수 K 와 추종성 지수 T 를 유사선의 Data를 가지고 추정한다. 선회성지수 K 란 어느 선박이 타각 $10^\circ(\delta_1)$, $20^\circ(\delta_2)$, $30^\circ(\delta_3)$ 를 사용하여 선박을 정상 선회시켜 본 결과 10° 의 타각에서는 $0.4^\circ/\text{sec}$, 20° 의 타각에서는 $0.6^\circ/\text{sec}$, 30° 의 타각에서는 $0.8^\circ/\text{sec}$ 의 각속도가 생겼다고 할 때 이들 각속도는 다음과 같이 타각의 배수로 표시될 수 있다.

$$\begin{aligned} 0.4^\circ/\text{sec} &= K_1 \delta_1 = K_1 \times 10^\circ, K_1 = 0.04/\text{sec} \\ 0.6^\circ/\text{sec} &= K_2 \delta_2 = K_2 \times 20^\circ, K_2 = 0.03/\text{sec} \\ 0.8^\circ/\text{sec} &= K_3 \delta_3 = K_3 \times 30^\circ, K_3 = 0.027/\text{sec} \end{aligned} \quad (3)$$

식(3)과 같이 선회각속도를 사용한 타각의 배수로 표시할 때 이 배수를 선회성 지수 K 라고 한다. 따라서 선회성 지수 K 값은 똑같은 선박이라 하더라도 사용타각의 크기 및 적하상태에 따라서 달라진다. 다만, 선박의 크기와 사용타각에 따라서 대략 얼마정도가 될 것인가는 예측할 수 있다. 또한 타각이 커짐에 따라서 K 지수는 작아진다. 이는 큰 타각을 사용할수록 선회저항이 상대적으로 커지기 때문이다. 또한 선체는 일정 타각을 주는 즉시 바로 선회하지 않고 일정한 시간이 지난 다음에 선회를 시작한다. 이렇게 시간적인 지연이 생기는 이유는 실제로는 타각이 생기면 선체가 곧바로 선회를 시작하겠지만 초기에는 각속도가 미세하여 우리 육감으로 잘 느끼지 못하고 우리가 시각적으로 각속도를 확실하게 볼 수 있기까지는 각속도가 축적되어 어느 정도의 큰 각속도로 되는 시간이 경과하여야 하기 때문이다. 이러한 시간적인 흐름을 추종성 지수 T 초라 한다.

4. 타 초기 설계 프로세서

본 연구에서 제안하는 타 초기 설계 프로세서는 개념설계에서 구해진 결과를 기초로 하여 구상화(embodiment)하는 과정이라는 것에 주목하여 타의 형상, 치수 등의 기본 레이아웃(layout)을 기능이나 경제성 등의 관점에서 비교·검토할 수 있는 과정으로 이루어져있다.

따라서 Fig. 4와 같이 타의 형상(Profile and Design)·타의 치수(dimension)·타와 프로펠러와의 적정 거리·선미선형 고려 및 조타기 용량(steering gear capacity) 초기 산정의 각 과정으로 구분 할 수 있으며, 끝으로 시뮬레이션에 의한 조종성능을 평가함으로써 초기 설계가 적절하게 이루어졌는지를 검토한다.

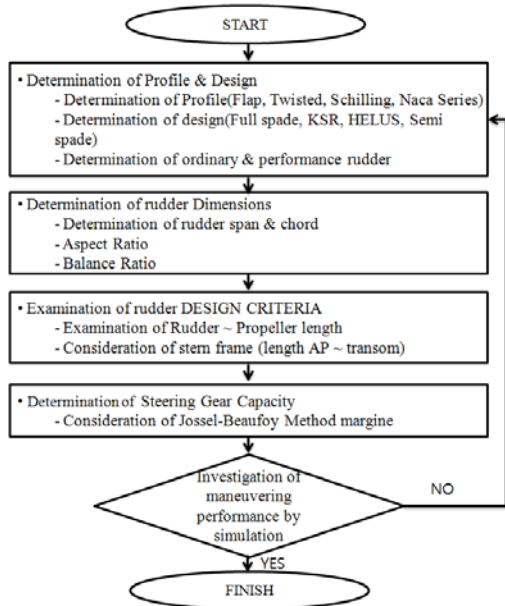


Fig. 4 Rudder initial design flow chart

4.1 타의 종류 결정

타의 종류를 결정할 때는 선주 요구나 조종 시험의 결과가 없을 경우에는 통상 NACA section을 사용한다. NACA section의 경우에 저항 면에서 얇은 단면(NACA No.가 작은 쪽)이 유리하고, 강도 면에서는 두꺼운 단면이 유리하다. 또한 타의 종류는 Profile과 Design 측면으로 나눌 수 있으며, 일반타와 특수타로 구분하기도 한다.

4.1.1 타의 형상 결정

타의 형상 결정시에는 Becker 타를 기준으로 Twisted, Flap, Schilling, Naca, Kort Nozzle 등으로 나눌 수 있다. Fig. 5는 Becker 타를 기준으로 타의 형상을 나타낸 것이다.

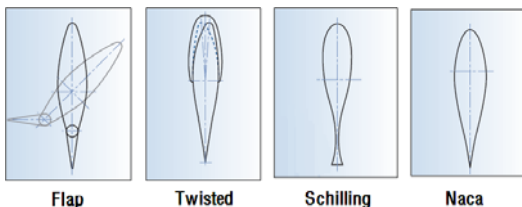


Fig. 5 Classification of rudder profile

Twist 타는 가동부의 침식을 저감하고 간극 주위의 침식을 없애는 방안으로 프로펠러 유입류와 같은 방향으로 타의 앞날(leading edge) 부분이 비틀어진(twist) 단면을 가진 것을 말한다. Flap 타는 현재 가장 많이 사용되고 있는 타입으로 가동부의 끝단에 Flap을 두어 타각에 따라 각도를 증가시켜서 더욱 큰 양력을 발생 시킬 수 있으며, 일반 타에 비해서 저속에서의 선회력과 선박의 조종성능을 향상시킨다. Shilling 타는 높은 양력 발생을 위해 타의 형상을 고양력이 발생 할 수 있도록 설계한 것이다. 단면의 형상은 타의 앞날(leading edge)이 두툼하여 유동을 가속시켜주고, 유선형의 중간 몸체(mid body)와 물고기 꼬리 모양(fish tail)을 하고 있어 있다. NACA Series는 경제적인 이유로 많이 사용되고 있으며, 일반적인 타입이라고 할 수 있다. 타 단면은 비행기 단면에 비하여 너비가 두꺼운 편이고 끝 부분의 모양도 Series 마다 차이가 있다. 이는 강도를 키우고 큰 타각에서도 실속(Stall)이 일어나지 않도록 하기 위한 것이다. Kort Nozzle은 타판 후부 단 내에 프로펠러를 장착한 것을 말한다. 타각을 주었을 때 소형 프로펠러의 추력에 의하여 선회성능을 증가시키고, 정지 중 용이하게 선박을 선회시킬 수 있다. 또한 타각 90° 또는 그 이상으로 동작시킬 수 있게 되어 있으므로 예인선 없이 조종 할 수 있는 장점이 있다.

4.1.2 타의 디자인(design) 결정

타의 디자인 결정시에도 Becker rudder를 기준으로 Full spade와 KSR(Kingdom Support Rudder), Herus support, Semi-spade 에서 선택 할 수 있다. Fig. 6은 타의 디자인을 나타낸 것이다.

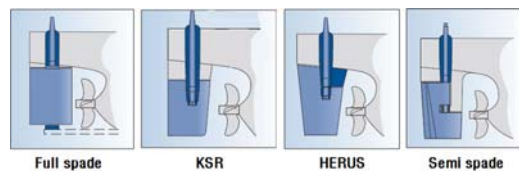


Fig. 6 Classification of rudder design

Full spade 타는 타 전체가 균형타로 되어 있고 혼이 없는 것이 특징이며, 타 자체 무게뿐만 아니라 타에 걸리는 하중이 하나의 축에 의해 지지되는 구조이다. 최근에는 간극에 의한 캐비테이션 침식 문제해결을 위한 새로운 방안으로 대형 선박에 많이 부착되고 있다. KSR은 큰 축(Kingdom Support)을 부착하여 운항 중에 발생하는 피로(fatigue)와 굽힘 모멘트를 줄일 수 있다.

Herus support는 저속으로 운항하는 큰 선박에 용이하며 Herus support를 부착함으로써 유체역학적 성능을 높일 수 있다. Semi-spade 타는 혼(horn)이 있는 타로서 타 상부는 불균형으로 되어 있고, 하부는 균형으로 되어 있다. Semi-spade 타의 구성은 혼, 핀틀, Semi-spade 타 날개로 되어 있으며, 높은 유체 하중을 견딜 수 있다는 장점이 있다. 그러나 최근 선박의 대형화 및 소요마력 증가 추세에 따라 캐비테이션에 의한 침식 문제가 심각하여 Full spade 타를 선호하고 있다.

4.1.3 일반타 · 특수타 결정

타의 단면 형상에 따라 결정되는 타 단면 결정 계수(K_c)에 따라 일반타와 특수타로 나누어 단면을 결정을 하기도 한다. 일반타는 NACA Series, Single plate, Flat side, Mixed, Hollow의 종류가 있으며, 특수타는 Fish tail(shilling), Flap 타의 단면 형상에서 선박의 목적에 맞게 선택된다. Fig. 7은 일반타의 단면에 따른 타 단면 결정 계수(K_c)를 나타낸 것이다.

	Profile Type	Kc	
		Ahead Condition	Astern Condition
1	Single plate	1.0	1.0
2	Naca series	1.1	0.80
3	Flat side	1.1	0.90
4	Mixel	1.21	0.90
5	Hollow	1.35	0.90

Fig. 7 Coefficient K_c for ordinary rudder

Fig. 8은 특수한 타 형상으로써 고 양력을 필요로 하는 선박에서 이용되는 형상이다.

	Profile Type	Kc	
		Ahead Condition	Astern Condition
1	Fish tail = Schilling rudder	1.4	0.8
2	Flap rudder	1.7	1.3
3	Steering Nozzle	1.9	1.5

Fig. 8 Coefficient K_c for performance rudder

4.2 타의 치수 결정

타의 치수를 결정할 때에는 최적타의 가로-세로비(aspect ratio)와 균형비(balance ratio)를 구해야 한다. 타의 치수 결정에서 필요한 부분을 Fig. 9에 표시했다.

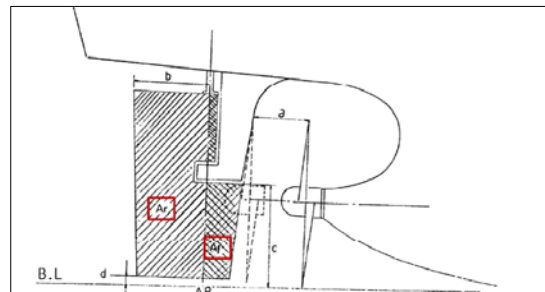


Fig. 9 Decision of rudder dimension

Fig. 9에서 a는 혼과 프로펠러와의 최소거리(a)로서 DnV 에서는 식(4)와 같이 규정하고 있다.

$$\begin{aligned}
 \text{프로펠러최소거리 규정 } (DnV): & a \geq 0.2R(m) \\
 & \begin{cases} a : 0.7R \text{에서의 간격} \\ R: \text{프로펠러반경} \end{cases} \quad (4)
 \end{aligned}$$

b는 선체 후부 격벽(Aft End BHD)을 벗어나지 않도록 설계해야 하며, c는 프로펠러 발출(propeller removal)시 간섭되지 않도록 한다. d는 도킹(docking)시 타가 손상을 입지 않도록 기선

(base line)과 적당한 간격을 유지하여야 하며 이 거리는 보통 400mm 정도로 한다.

타의 가로-세로비에 대한 연구로 타의 스패닝에 따른 면적 변화가 침로안정성에 미치는 영향에 관한 연구(Sohn et al. 1996)가 있다. 가로-세로비(aspect ratio)가 커지면 양력계수가 좋아지는 것은 널리 알려진 사실이나, 이에 반하여 침로안정성을 저해할 가능성이 있다. 따라서 대형 조선소에서는 컨테이너선에서는 타의 가로-세로비(aspect ratio)를 약 2.0 정도로 하고, 일반적인 경우에는 가로-세로비를 약 1.6정도를 사용하고 있다.

균형비(balance ratio)는 조타기(steering gear) 용량 산정에 중요한 역할을 하며 23~28% 범위가 일반적이다. 일반 화물선의 경우에 타면적비와 균형비를 Table 2에 나타내었다.

Table 2 Balance ratio and area ratio of general cargo ship

	General Cargo Ship
Rudder Area Ratio($A_r/L \times a$)	1.4~1.7%
Rudder Balance Ratio(A_f/A_r)	22~24%

<Ar : Total Rudder Area(Rudder Horn 제외)
Af : Fore Rudder Area >

4.3 타 설계 크라이테리어(criteria) 검토

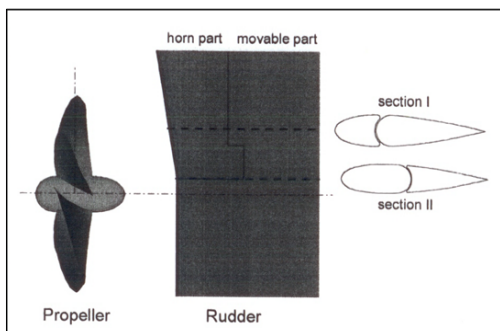


Fig. 10 Criteria examination of design

타의 설계 크라이테리어(criteria) 검토 시에 프로펠러와 타의 간격 및 선저부와 타와의 거리, 선미재(Stern frame)의 영향을 고려해야 한다.

먼저 프로펠러와 타의 간격은 일반적으로 타의 위치에서 봤을 때 타와 선체와의 간격은 가깝고 프로펠러의 바로 뒤에 배치하는 것이 좋지만, 추진 성능 및 침식 가능성 모든 측면에서 간격이 작다고 해서 좋다고 할 수 없다. 또한 일정거리 이상에서 프로펠러 유기 속도가 충분히 커져 타력도 증가하는 부분도 고려해야 한다.

단축선에서는 프로펠러의 바로 뒤에 반드시 타를 배치해야 하지만, 쌍축선에서는 프로펠러의 바로 뒤에 타를 배치하거나 선미의 중앙에 단축선과 같이 배치해야 하는 문제가 있다. 선저부와 타와의 거리는 선박의 도킹(docking)시에 타가 손상을 입지 않도록 적당한 간격을 유지해야 한다. Fig. 11은 타와 프로펠러, 선미재와의 거리에 의한 영향을 나타낸 것이다.

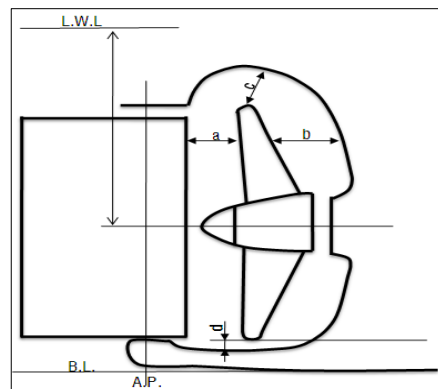


Fig. 11 Criteria of rudder design

Fig. 11에서 간격 a와 b를 크게 하면 선체와 타의 진동을 작아지게 하는 효과가 있고, 프로펠러의 추진 성능에 미치는 영향이 크다. 간격 b와 d가 작아지면 프로펠러의 공동현상에 의한 침식 작용을 일으키거나 선미 골재에도 같은 영향의 침식을 일으킬 수 있으므로 설계 시 주의해야 한다 (Lee 2008).

4.4 조타기(Steering gear) 용량 추정

조타기 용량을 Jossel-Beaufoy 법을 사용하여 추정하며 5.2절의 식(5)~(10)에 설명했다.

4.5 시뮬레이션에 의한 조종성능 검토

시뮬레이션에 의한 방법은 임의의 조타운동에 대한 선박의 조종운동을 손쉽게 계산할 수 있어 시간과 비용 면에서 매우 실용적이다. 단, 이 방법에서는 선박 조종운동의 물리적 특성을 묘사한 조종수학모형의 합리성과 선박의 조종운동 중 유체력 특성을 나타내는 조종 유체력 계수의 정확한 추정이 핵심이다.

한국해양연구원의 경우 조선소들과 공동으로 수행한 두 차례의 한국조선공업협회의 조선기술 연구조합 과제 연구를 통해 탱커 선형에 대한 조종 유체력 계수 DB를 구축하고, 이를 기반으로 초기 설계단계에서의 선박의 조종성능을 추정할 수 있는 조종성능 추정프로그램 M-View를 개발하고 보급하여 사용하고 있다.

5. 타 상세 설계 프로세서

본 연구에서 제안하는 타 상세 설계 프로세서는 초기설계의 결과를 근거로 하여 상세구조, 상세형상, 상세치수, 상세배치에 대한 레이아웃(layout) 등을 결정해야 하는 과정임을 유의하여 작성하였다. 또한 초기설계의 결과가 상세설계 과정 중 문제없이 진행되는 것이 바람직하지만, 불가능한 경우에 초기 설계의 단계로 되돌아갈 수 있는 피드백(feedback) 과정을 두었다. Fig. 12와 같이 상세설계 과정은 초기설계에서 추정된 결과를 바탕으로 상세한 구조를 결정한다. 먼저 초기 설계 과정에서 추정된 조타기 용량(steering gear capacity)을 상세히 검토하여 최종 결정하고, 타의 형상 및 면적을 보수·유지 관점에서 검토 한다. 또한 설계 타에서 발생 될 수 있는 침식에 대한 문제를 다루며, 속도성능과 조종성능을 평가하고, 타 구조해석 및 생산도면을 작성하는 과정으로 구성된다.

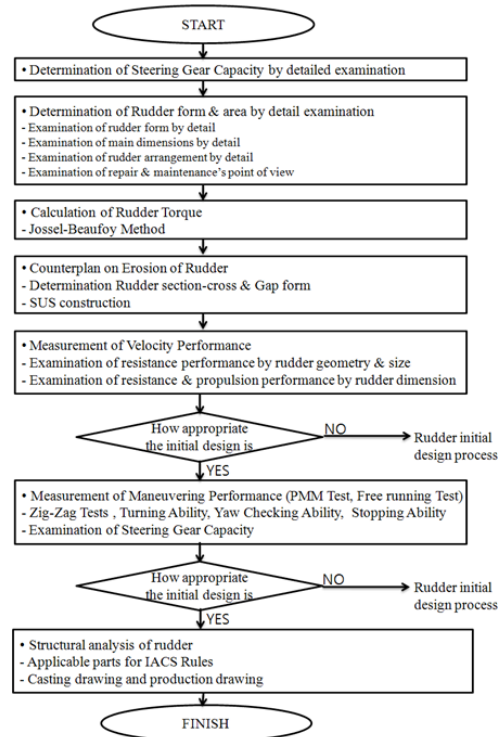


Fig. 12 Rudder detail design flow chart

5.1 타 형상 결정

상세설계 단계에서 타 형상 결정은 초기 설계에서 검토되었던 타의 단면이나 디자인 측면을 고려하고, 추가적으로 타면적과 전체 도심 및 A.P와의 거리가 최소가 되도록 조절하여야 한다. Fig. 13의 거리 d 와 타면적을 변화시키지 않으면서 도심과 핀틀 중심(pintle center)과의 거리 h 가 최소가 되도록 설계되어야 한다.

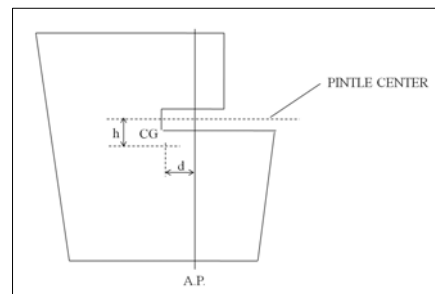


Fig. 13 Decision of rudder dimensions

5.2 타 토크 계산

Jossel-Beaufoy 법을 사용하여 타 토크를 계산하는데 Jossel-Beaufoy 법은 타에 작용하는 힘과 모멘트를 구하기 위해 사용하는 것으로, 조선소에서는 아래의 Jossel-Beaufoy 계산식의 결과에 실적선 경험 인자를 반영하여 사용한다.

$$F_N = 58.8AU_r^2 \sin\alpha \quad (5)$$

$$= 15.6AU^2 \sin\alpha$$

$$(CP)_c = (0.195 + 0.305 \sin\alpha) \times c \quad (6)$$

$$Q_H = AcV_i^2(4.36 - 11.8 \frac{d}{c})10^{-3} \quad (7)$$

여기서 α 는 영각, U_r (m/sec)과 U (knots)는 유입 속력이고, V_t (knots)는 시운전 속력이다.

여기서 (5),(6),(7) 계산식의 변수는 타면적, 유입 속력과 영각뿐이다. 일반적으로 날개 단면의 양력 계산 시에 고려되는 가로-세로비(aspect ratio), 균형비(balance ratio), 경사각(sweepback angle) 등을 반영하는 인자가 없으며, 혼부분 특성도 고려하지 않고 있다.

선급(IACS) 계산식은 타의 가로-세로비(aspect ratio) k_R , 타단면 형상 계수 k_c , 추진기 후류 내의 타 위치 계수 k_t 를 사용하여, 타에 작용하는 수직력, 작용점, 그리고 토크를 구한다.

$$F_N = 0.312k_R k_c k_t A V^2 \quad (8)$$

$$r = c(a - k) \quad (9)$$

$$Q_R = F_N r \quad (10)$$

여기서, k 는 타면적의 균형비이다.

Jossel-Beaufoy 법과 선급(IACS) 계산식 모두 선형과 추진기의 영향을 상세하게 반영할 인자가 없지만 아직까지도 조타기 토크 결정의 기본식으로 현장에서 폭넓게 사용되고 있다(Son and Rhee 2000).

5.3 타 침식방지 대책 수립

선박의 고속화 및 대형화에 따라 최근 타의 캐

비테이션 문제가 대두되고 있다. 따라서 타 상세 설계 시 타표면 침식현상에 대한 고려가 필요하다. Fig. 14는 2,700TEU 컨테이너선에서 타 표면에 발생하는 침식 부위를 나타낸다.

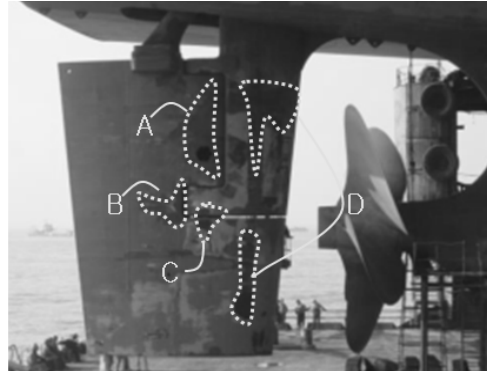


Fig. 14 Erosion part of 2,700TEU container ship

일반적으로 고속 컨테이너선의 프로펠러 후류의 고속영역에서 작동하는 선박 타는 프로펠러 후류의 회전유동에 의해 타로 유입되는 유동의 받음각이 증가하여 타의 앞날 부근에 얇은 층 캐비테이션(Fig. 14 (D))과 간극유동과 주유동이 만나면서 흡입면의 간극 주위에서 캐비테이션(Fig. 14 (A, B, C))이 발생하게 된다(Seo et al. 2009).

이러한 타 캐비테이션 중 간극 주위에 발생하는 캐비테이션은 타에 큰 손상을 입힌다. 간극주위에서 발생하는 캐비테이션 현상을 감소시키기 위해 간극 사이에 차단봉(Bu et al. 2004, Paik et al. 2008, Oh et al. 2009a, 2009b)이나 유동분사 장치(Seo et al. 2009), 틸새유동 차단 장치(Oh et al. 2008), baffle plate등을 장착하여 간극을 통해 드나드는 유량을 감소시켜 간극 주위의 캐비테이션을 감소시킨 연구가 수행된 바 있다.

타 침식에 대한 대책으로는 타의 앞날 부분(leading edge)을 비틀어진 단면(twist)을 가지도록 하여 입사류와 같은 방향으로 타의 단면을 개선하는 방법, 간극 주위 형상을 개선하거나 내부에 특수 장치를 두는 방법, 전가동타를 채용하는 방법 및 발생 예상 부위에 SUS 시공을 하거나 특수도료를 입히는 방법이 있다.

5.4 속도 성능 평가

속도 성능 평가 과정에서는 설계된 타의 형상, 크기, 치수에 의한 저항 및 추진성능을 검토한다.

5.5 조종 성능 평가

선박의 조종 성능 평가 과정 중에는 구속모형 시험과 자유 항주 시험을 수행한다.

구속모형 시험의 경우에는 PMM과 같은 장비를 이용해서 모형선에 강제적인 운동을 부여하고, 이때 계측되는 동유체력을 분석해서 조종성 미계수를 구하는 시험을 말한다. 그리고 구해진 조종성 미계수는 수치 시뮬레이션을 통해서 다양한 조종 운동 특성을 검토하게 된다.

또한 자유 항주 시험은 모델을 구속하지 않은 상태에서 타각과 프로펠러 회전수 등을 변화시켜 모형선의 조종운동 특성을 계측하는 방법이다.

조종성능을 평가하는 조종 시험의 종류는 수십 가지이나, 표준 시험으로 정착된 시험은 선회시험 (Turning Test), 지그재그시험(Zig-Zag Test), 정지시험(Stopping Test)이다.

선회 시험은 설계 속도로 직진하다 최대 타각으로 돌리고 프로펠러 엔진은 제어하지 않은 상태에서 선박이 360° 회전할 때까지를 계측하여, 선박의 선회 성능을 평가하는 조종시험이다. 선회 시험을 할 때에는 주어진 시험 속도에서 좌현과 우현 선회시험 모두 수행하며, Fig. 15는 쌍축선형과 일반 단축선의 경우에 타를 35° 좌현으로 구동시킨 경우의 시뮬레이션 결과이다.(Kim et al. 2006) 이 중 Type2는 쌍축 선형의 특성을 고려하였을 때를 나타내며, Type1은 일반 단축선의 경우의 선회 시험 결과를 나타낸다.

지그재그 시험은 선박의 변침성능을 알아보기 위한 시험이며, 시험 내용의 예로 10/10 지그재그 시험은 설계속도로 직진하다 타각을 10° 돌리고 선회하는 선박의 선수 각이 10°에 도달할 때까지 기다렸다 타를 반대 방향으로 10° 돌리는 과정을 반복하는 조종시험을 말한다. Fig. 16과 Fig. 17은 10/10 지그재그 시험과 20/20 지그재그 시험을 한 것으로 쌍축 선형(Type2)과 일반 단축선 (Type1)의 경우를 비교한 것이다(Kim et al. 2006).

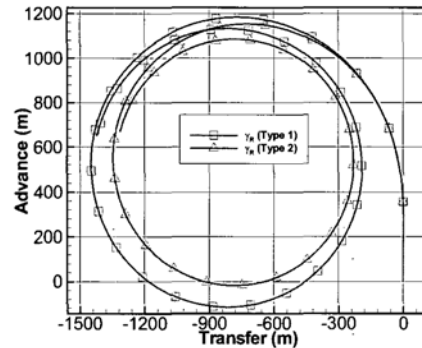


Fig. 15 Simulation of turning test(Kim et al. 2006)

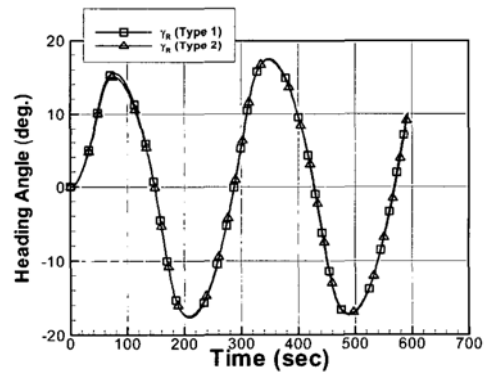


Fig. 16 Simulation of 10/10 Zig-Zag test (Kim et al. 2006)

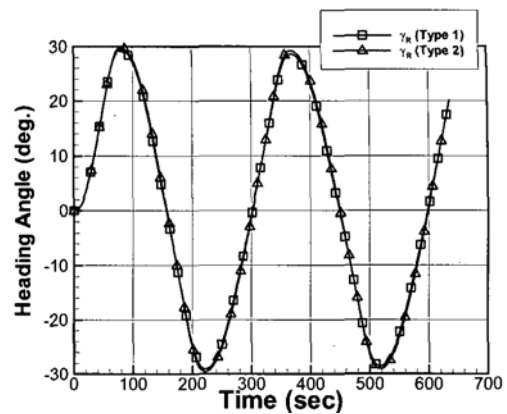


Fig. 17 Simulation of 20/20 Zig-Zag test (Kim et al. 2006)

Table 3은 표준 조종시험에 대한 IMO의 규정이다.

Table 3 Summation of maneuverability of MSC.137

Item	Description	Criteria
Turning Ability	Implementing left, right and turning test at the given test speed	Advance<4.5L Tactical diameter<5L
Initial Turning Ability	Advance when applying 10° bow angle and rudder angle to left or right	<2.5L
Yaw Checking Ability (Zig-zag Test)	10°/10° Zig-zag (1st Overshoot Angle)	if, L/V < 10 : 10° if, L/V > 30 : 20° if, 10<L/V<30: <5°+0.5(L/V)
	10°/10° Zig-zag (2nd Overshoot Angle)	1st Overshoot Angle +15° <35° in general
	20°/20° Zig-zag (1st Overshoot Angle)	< 25°
Stopping Ability	Crash stop astern test/시 Track reach distance	< 15L

5.6 타 구조해석

타 구조해석에서는 IACS Rule 적용부재를 정하고, 주물도 및 생산도면을 작성한다.

6. 결론

본 연구에서는 각 조선소의 타 설계 프로세스를 비교 및 분석하고, 상호 보완하여 가장 일반화된 타 설계 프로세서를 제안하고자 하였으며, 타 설계과정을 타 개념설계, 초기설계, 상세설계 과정으로 나누어 기술하였다.

각 설계 과정은 아래와 같이 요약 할 수 있다.

- 개념설계에서는 타 형상과 면적 추정 및 K, T를 추정한다.
- 초기설계에서는 타 형상, 치수 및 배치를 결정하고, 조타기 용량(steering gear capacity)을 추정하며, 시뮬레이션(simulation)에 의한 조종성능을 검토한다.
- 상세설계에서는 초기설계에서 검토된 사항을 재확인하며, 타 토크(torque) 결정 및 모형 시험을 통해서 타의 조종성능을 검토한다.

후 기

이 논문은 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. ROA-2007-000-10028-0).

참 고 문 헌

- Bu, K.T., Song, I.H. and Sin, S.C., 2004, "Numerical Simulation for the Rudder in order to Control the Cavitation Phenomena," Journal of Ship and Ocean Technology, Vol. 8, No. 1, pp. 42-50.
- Kim, Y.G., Kim, S.Y, Kim, H.T., Yu, B.S. and Lee, S.W., 2006, "Study on the Maneuvering Characteristics of a Container Ship with Twin Skegs," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 43, No. 1, pp. 15-21.
- Lee, C.E., 2008, Ship Design, Cheong moon gak, Pa-Ju, Gyeonggi-do.
- Oh, J.K., Lee, C.M., Lee, H.B., Seo, D.W., Rhee, S.H., Suh, J.C., Lee, S.H. and Kim, H., 2008, "Rudder Gap Cavitation and its Suppression Devices," Proc. of FEDSM2008, Aug. 10-14, Jacksonville, Florida, USA.
- Oh, J.K., Seo, D.W. and Kim, H., 2009a, "Numerical Study on the Gap Flow of a Rudder System with Bisymmetric Blocking Bar," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 45, No. 5, pp. 460-470.
- Oh, J.K., Seo, D.W., Kim, H. and Lee, S.H., 2009b, "A Numerical Study for Reduction of Rudder Cavitation with Gap Flow Retadation," Proc. of 10th FAST2009, Oct. 5-8, Athens, Greece, pp. 51-62.
- Paik, B.G., Kim, K.Y., Ahn, J.W., Kim, Y.S., Kim, S.P. and Park, J.J., 2008, "Experimental Study on the Gap Entrance Profile Affecting Rudder Gap Cavitation," Journal of Ocean Engineering, Vol. 35, pp. 139-149.
- Seo, D.W., Oh, J.K. and Lee, S.H., 2009, "A Numerical Study on the Control of the Gap Flow Using a Fluid Supply Device", Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 46, No. 6, pp. 579-587.
- Sohn, K.H., Lee, G.W., Kim, H.S., Kim, Y.S. and Ha, M.K., 1996, "A Study on the Effect of

Rudder Area with Reference to Changes in Span Distance on Course Stability of a Ship”, Transactions of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 33, No. 4, pp. 3-16.

- Son, D.I. and Rhee, K.P., 2000, "A New Empirical Formula for Steering Gear Torque of Tankers by Statistical Analysis based on Sea Trial Data and Modified Lifting Line Theory", Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 37, No. 1, pp. 40-49.



< 김 상 현 >



< 김 현 준 >



< 전 희 철 >



< 윤 승 배 >