論 文

大韓造船學會論文集
第 34 卷 第 3 號 1997年 8月
Journal of the Society of
Naval Architects of Korea
Vol. 34, No. 3, August 1997

특수타의 채택이 침로 안정성에 미치는 영향에 관한 실험적 연구

손경호*, 김진형**, 김현수***, 김윤수***, 하문근***

An Experimental Study on the Effect of Adoption of Special Rudders on Course Stability of a Ship

by

K.H Sohn*, J.H. Kim**, H.S. Kim***, Y.S. Kim*** and M.K. Ha***

요 약

본 연구는 특수타의 채택으로 인한 침로 안정성 개선 효과에 관한 내용을 담고 있다. 구체적으로 여러 특수 형태의 타(본 연구에서는 특수타로서 볼록타, 오목타, 플랩타, 엔드플레이트타를 생각함)를 동일 선체에 설치하였을 때의 침로 안정성 개선 효과를 조사하기 위해서, 먼저 특수타의 타 단독 시험을 실시하여 양력 개선 효과를 조사하였으며, 또한 선체-프로펠러-타 시스템에서의 각종 구속 모형 시험을 실시하여, 특수타가 타수직력과 관련된 실험 정수들에 미치는 영향을 조사하였다. 그리고 실험 결과로부터 특수타의 채택에 따른 조종성 미계수의 변화를 구하고, 침로 안정성을 정량적으로 분석, 비교 및 검토하였다. 그 결과, 볼록타와 오목타 그리고 플랩타는 침로 안정화에 거의 기여하지 못하고, 엔드플레이트타는 침로 안정성을 크게 향상시킨다는 것을 확인하였다. 본 연구 결과는 초기 설계 단계 또는 선박 건조 후 침로 안정성이 문제시된 선박에, 선미 형상의 설계 변경없이 타의 형상 개조만으로 침로 안정성을 개선시키고자 할 때 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

Abstract

The paper deals with the effectiveness of various special rudders on course stability of a ship. We adopted five types of rudder, such as one normal rudder and four special rudders,

발 표: 1996년도 대한조선학회 추계연구발표회('96. 11. 8)
접수일자: 1996년 12월 9일, 재접수일자: 1997년 5월 23일
* 정회원, 한국해양대학교 조선해양공학부
** 삼양무선공업주식회사(연구당시, 한국해양대학교 대학원)
*** 정회원, 삼성중공업(주) 조선플랜트연구소

which contain two rudders with concave and convex strips on sides respectively, one flapped rudder, and one rudder with end plates on tips. In the circulating water channel, model test was carried out for measuring lift characteristics of the rudders in open water. And various captive model tests were also carried out for measuring the experimental constants related with helm angle and steering in hull-propeller-rudder system. From the test results, the changes in manoeuvring hydrodynamic derivatives due to adoption of normal and special rudders were predicted. Then course stability performances of a ship with normal and special rudders were evaluated and discussed. As a result, it is clarified that the rudder with concave or convex strips and flapped rudder have no effect on course stability, while the rudder with end plates improves course stability with effect. The result in this study is expected to be used usefully when the course stability is in issue and has to be improved without amendment of hull design at initial design phase or after construction of a ship.

1. 서 언

최근 선형의 다양화 및 대형화 추세에 따라, 특히 비대선형에 있어서, IMO 조종성 잠정 기준[1] 4가지 항목 중 변침 및 보침 성능을 만족하지 못하는 경우를 예상할 수 있다[2]. 변침 및 보침 성능은 선체 고유의 침로 안정성과 관련이 있으므로[3], 변침 및 보침 성능이 나쁜 선박은 무엇보다도 먼저 침로 안정성을 향상시켜야 한다. 따라서 초기 설계 단계 또는 선박 건조 후에 침로 안정성이 문제시된 경우에 대비하여, 실용적으로 적용 가능한, 선미 또는 타의 형상 개조에 의한 침로 안정성의 개선 방법에 관한 기술 확보가 필요할 것이다. 이중에서 선미 형상 개조보다는 우선적으로 생각될 수 있는 것이 타의 형상 개조 방법이라고 생각된다. 타의 형상 개조에는 타면적을 증감시키는 방법과 특수타를 채택하는 방법이 있다. 타면적 증감에 의한 침로 안정성 개선 효과에 관해서는 문헌[4]에서 보고하였으며, 본 연구에서는 특수타의 채택에 다른 침로 안정성 개선 효과에 대해서 논의하기로 한다.

2. 침로 안정성 평가를 위한 운동학적 정식화

Fig. 1과 같이 선체 중앙(midship)에 좌표 원점

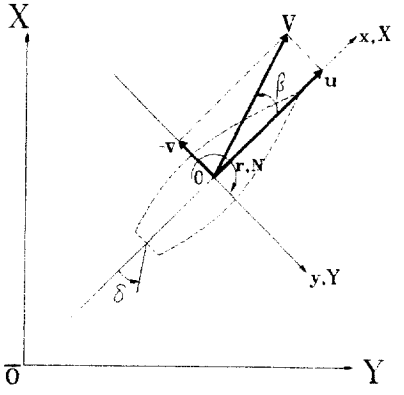

Fig. 1 Coordinate system

을 둔 동좌표계를 $O-xyz$라 할 때, 부가 질량을 고려한 조종 운동의 기본 방정식은 다음과 같이 표시된다[4].

$$\begin{aligned}(m+m_x)\dot{u}-(m+m_y)vr\\ -(mx_G+m_y\alpha)r^2=X\\ (m+m_y)\dot{v}+(m+m_x)ur\\ +(mx_G+m_y\alpha)\dot{r}=Y\\ (I_{zz}+J_{zz})\dot{r}+(mx_G+m_y\alpha)\dot{v}\\ +mx_Gur=N\end{aligned}\tag{1}$$

여기서 m은 선체의 질량, I_{zz}는 z축 주위의 관성 모멘트, x_G는 무게 중심의 x좌표, m_x, m_y는 각각 x, y축 방향의 부가 질량, J_{zz}는 z축 주위의 부가 관성 모멘트, α는 m_y의 중심의 x좌표를 나타낸다. u, v, r은 각각 선체 중앙에서의 x축 방향 속도 성분, y축 방향 속도 성분, z축 주위의 각속도 성분이다. $\dot{u}$, $\dot{v}$, $\dot{r}$는 각각 u, v, r의 시간에 대한 1차 도함수이다. X, Y, N은 각각 x, y축 방향 유체력과 z축 주위의 유체력 모멘트이다.

식(1)에서 조종 운동이 미소하다고 가정하면, 조종 운동에 따른 선속 변화는 무시될 수 있으며, 유체력 Y, N은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} Y &= \frac{1}{2}\rho L d V^2 (Y_{\beta}'_{HP}\beta + Y_{r}'_{HP} r') \\ &\quad - (1 + a_H) F_N \\ N &= \frac{1}{2}\rho L^2 d V^2 (N_{\beta}'_{HP}\beta + N_{r}'_{HP} r') \\ &\quad - (x_R + a_H x_H) F_N \end{aligned} \tag{2}$$

여기서 ρ는 유체의 밀도, L과 d는 각각 선체 길이와 평균 흘수, V는 합속도, F_N은 타수직력, a_H, x_H는 간섭 유체력과 관련된 실험 정수, x_R은 F_N의 작용점의 x좌표를 나타낸다. 유체력 미계수에 표시한 하첨자 HP는 hull+propeller 상태에서의 값을 의미한다. 그리고 횡방향 유속 v 대신에 사항각 β를 사용하였으며, 운동 변수의 무차원화는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} v' &= v / V = -\sin\beta \approx -\beta \\ r' &= r(L/V) \end{aligned} \tag{3}$$

타수직력은 MMG 모델[5]을 참고하여 다음과 같이 나타낸다.

$$F_N = \frac{1}{2}\rho A_R V_R^2 f_\alpha \{\delta - \gamma(\beta - l_R' r')\} \tag{4}$$

여기서 V_R은 타에의 유효 유입 속도, A_R은 타면적, f_α는 타수직력 경사, δ는 타각, γ는 정류 계수, l_R'는 실험 정수이다.

식(4)를 식(2)에 대입하면 HPR 즉, hull+propeller+rudder 상태에서의 조종성 미계수 즉, Abkowitz형 수학 모델[6]에서의 선형 유체력 미계수를 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} Y_\beta' &= Y_{\beta}'_{HP} - k_1\gamma \\ N_\beta' &= N_{\beta}'_{HP} - k_2\gamma \\ Y_r' &= Y_{r}'_{HP} + k_1\gamma l_R' \\ N_r' &= N_{r}'_{HP} + k_2\gamma l_R' \\ Y_\delta' &= k_1, \quad N_\delta = k_2 \end{aligned} \tag{5}$$

단,

$$\begin{aligned} k_1 &= -(1 + a_H)\left(\frac{A_R}{Ld}\right)\left(\frac{V_R}{V}\right)^2 f_\alpha \\ k_2 &= -(x_R' + a_H x_H')\left(\frac{A_R}{Ld}\right)\left(\frac{V_R}{V}\right)^2 f_\alpha \end{aligned} \tag{6}$$

HP 상태에서의 유체력 미계수 즉, $Y_{\beta}'_{HP}$, $N_{\beta}'_{HP}$, $Y_{r}'_{HP}$, $N_{r}'_{HP}$의 값은 타와는 상관이 없으므로, 특수타의 채택에 따른, 타수직력과 관련된 실험 정수를 구해줌으로써 HPR 상태에서의 조종성 미계수를 결정할 수 있고, 이로부터 다음과 같이 침로 안정성의 정량적 변화를 비교, 분석할 수 있다.

침로 안정의 조건은 다음과 같다.

$$l_d' = \frac{N_r' - m' x_G'}{Y_r' - (m' + m_x')} - \frac{N_\beta'}{Y_\beta'} > 0 \tag{7}$$

여기서 l_d'를 침로 안정성 레버(stability lever)라 정의한다.

그리고 정상 선회 특성의 원점 부근에서의 기울기를 나타내는 선회력 지수 K'는 다음과 같다.

$$K' = \frac{Y_\delta' N_\beta' - Y_\beta' N_\delta'}{Y_\beta'(N_r' - m' x_G') - N_\beta'\{Y_r' - (m' + m_x')\}} \quad (8)$$

일반적으로 침로 안정성 또는 불안정성의 정량적 평가는 식(7), (8)에 의해서 수행된다. 즉, 침로 안정한 선박은 $l_d' > 0$, $K' > 0$ 이고 l_d'가 클수록, K'가 작을수록 안정의 정도는 증대된다. 그리고 침로 불안정한 선박은 $l_d' < 0$, $K' < 0$ 이고 l_d'의 절대값이 클수록, K'의 절대값이 작을수록 불안정의 정도는 심하다.

3. 구속 모형 시험 및 침로 안정성의 평가

3.1 실험 시설, 공시선 및 공시타

본 연구에서는 회류 수조에서 실험을 수행하였으며, 회류 수조는 길이 12.5 m, 폭 2.2 m, 높이 5.2 m인 2 임펠러 방식의 수직 순환형으로서, 관측부인 개구부는 길이 5 m, 폭 1.8 m, 수심 0.9 m이다. 회류 수조의 개략도를 Fig. 2에 나타낸다. 그리고 구속 모형 시험시 관측부에서의 수직 방향 유속 분포의 측정 결과의 일부를 Fig. 3에 나타낸다.

본 연구에서 채택한 선형은 실선 264 m의 탱커 선형으로서 실선과 모형선의 주요목은 Table 1과 같다. 그리고 정면도와 선수, 선미부 측면 형상을 Fig. 4에 나타낸다.

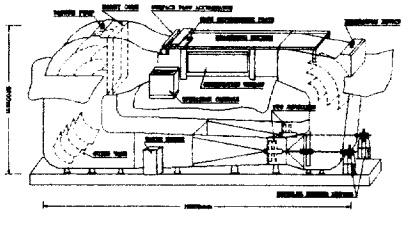

Fig. 2 Schematic diagram of circulating water channel

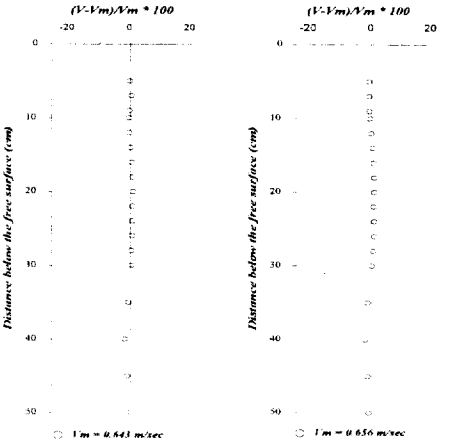

Fig. 3 Depth-wise velocity distribution at working section(V_m : mean velocity)

Table 1 Principal particulars of ship and model

Items		Ship	Model
HULL			
Length B.P.	L (m)	264.0	2.0
Breadth	B (m)	47.8	0.3621
Mean draft	d (m)	16.0	0.1212
Trim	τ (m)	0.0	0.0
Block coefficient	C_B	0.8210	0.8210
Midship section coefficient	C_M	0.9978	0.9978
RUDDER			
Height	H (m)	10.89	0.0825
Area ratio	A_R/Ld	1/51.0	1/51.0
Aspect ratio	λ	1.4323	1.4323
PROPELLER			
Diameter	D (m)	8.0	0.061
Pitch ratio	P/D	0.709	0.709
Expanded area ratio	A_e/A_o	0.490	0.490
No. of blades		4	4

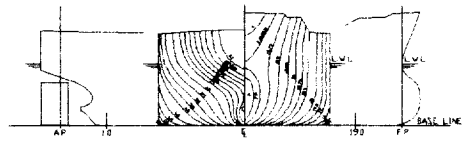

Fig. 4 Body plan and hull end profiles

그리고 본 연구에서 채택한 모형타는 Fig. 4에 나타낸 기존의 보통타를 포함하여 총 5종이며, 단면 형상은 NACA 0020으로서 동일하다. 모형타의 외형 형상을 Fig. 5에 나타낸다. A타는 보통타이

며, B, C, D, E타는 종횡비와 타면적은 보통타와 동일하지만 형상만을 특수하게 변화시킨 것이다. 구체적으로 B타는 볼록타로서 측면에 일정한 간격으로 수평 방향으로 볼록한 띠를 설치하였으며, C타는 오목타로서 측면에 일정한 간격으로 수평 방향으로 오목한 홈을 설치하였다. D타는 플랩타(flap rudder)인데, 본 연구에서는 플랩의 앙각을 15°로 일정하게 유지하여 주타와 플랩을 일체형으로 고정시켰다. E타는 상하면에 판(end plate)을 설치한 타(이하 엔드플레이트타라 함)이며, 엔드플레이트는 Schilling타[7]를 참고하여 제작하였다.

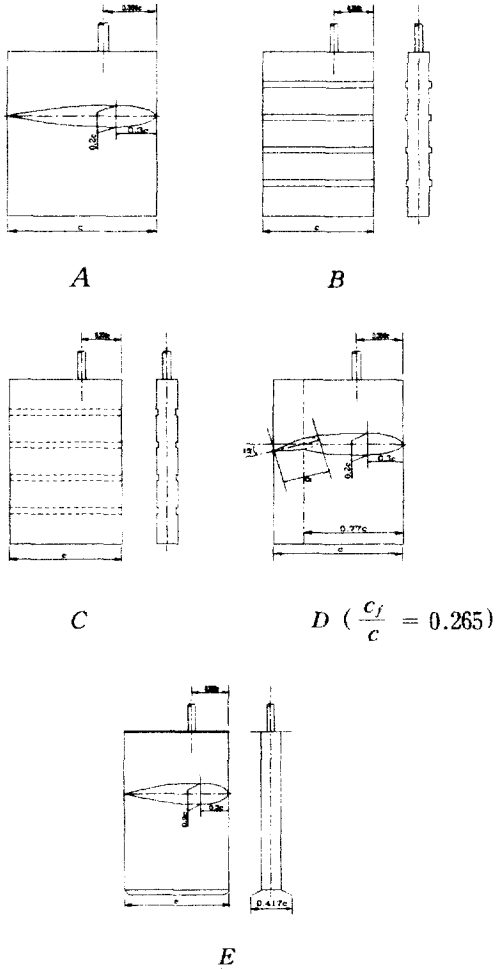

Fig. 5 Model rudders

3.2 타 단독 시험에 의한 양력 개선 효과의 검토

단독 시험에 이용한 모형타의 주요 치수 및 실험시의 유속과 Reynolds 수(R_n) 등은 Table 2와 같다. 여기서 $R_n = Vc/\nu$와 같이 정의된다 (단, V : 유속, c : 코드 길이, ν : 동점성 계수).

Table 2 Experimental conditions of rudder open test

Kind of rudder	Chord length *cm*	Height *cm*	Water velocity *m/sec*	Reynolds No. $\times 10^6$	Exp. cond.
A, B, C, D, E	8.64	12.4	0.661	0.058	(I)
A, B, C, D, E	8.64	12.4	1.253	0.110	(II)

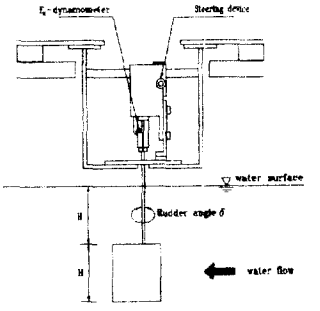

Fig. 6 Experimental apparatus for rudder open test

타 단독 시험용 실험 장치는 Fig. 6과 같고, 타각 δ에 따른 타수직력 F_N을 계측하여 무차원화한 값 C_N을 다음과 같이 표시한다.

$$C_N = F_N / \frac{1}{2}\rho A_R V^2 = f_a \sin\delta \qquad (9)$$

Table 2에 표시한 Exp. cond.(I), (II)에 대한 A, B, C, D, E타의 타수직력 측정 결과와 Fujii 식[8]을 이용한 C_N값을 동시에 Figs. 7, 8에 나타낸다. Figs. 7, 8로부터 다음 사항을 알 수

있다. (1) 타수직력의 크기는 Exp. cond.(I)에서의 값이 Exp. cond.(II)에서의 값보다 전반적으로 크게 측정되었다. 이것은 R_n의 차이에 의한 척도 효과(scale effect)에 기인한다고 생각된다. Okada는 회류 수조에서의 타 단독 성능 실험 결과를 비교, 분석하여 R_n이 약 0.1×10^6이상이면 척도 효과가 무시된다고 하였다[9]. 따라서 본 실험 결과에서는 Exp. cond.(II)에서는 척도 효과가 거의 무시될 수 있다고 생각할 수 있으며, 이 조건하에서 A타의 수직력 계수의 경사는 Fujii 식과 거의 일치함을 알 수 있다. (2) B, C타는 A타에 비해서 오히려 타수직력이 약간 감소하는 경향을 보이고 있다. (3) E타는 A타에 비해서 타수직력이 크게 증가하는 경향을 보이고 있다. 이것은 보통타의 순환 분포가 타원 분포임에 반해 엔드플레이트를 설치함으로써 순환 분포가 2차원 익(翼)에서와 같이 균일 분포를 하기 때문에 양력 특성이 개선되었다고 생각된다. (4) 플랩타의 단독 시험은 주타각 δ뿐만 아니라 플랩각 θ를 동시에 변수로 하여 실험을 실시하여야 하지만, 본 연구에서는 실험의 편의를 위해서 $\theta = 15°$로 일정하게 유지하였다. 한편, Kato는 플랩타의 단독 성능 시험 자료를 분석한 결과, 플랩타의 양력 특성에 미치는 주타각(δ)과 플랩각(θ)의 영향은 각각 독립적임을 밝혔다[10]. 따라서 플랩만에 의한 타수직력 증가량 ΔC_N은 다음 식에 의해서 추정될 수 있다.

$$\Delta C_N = \frac{6.13\lambda}{\lambda + 2.25} \cdot k_1(c_f/c) \cdot k_3(\theta) \quad (10)$$

여기서 k_1과 k_3은 각각 Fukatsu와 Young에 의해서 Fig. 9와 같이 주어진다. c_f와 c는 각각 플랩과 전체 타의 코드 길이이다. 식(10)은 문헌[10]에 제시된 Young의 식에서 타수직력 계수의 경사로서 Fujii 식[8]을 적용한 것이다. $\theta = 15°$ 상태에서의 D타에 관한 본 실험 결과는 Figs. 7, 8에 보이고 있는데, Exp. cond.(I), (II) 모두 $\delta > 0$인 영역에서 ΔC_N이 거의 일정함을 알 수 있다. 또한 ΔC_N은 Exp. cond.(II)에서 약 0.20 정도로서, 식(10)에 의한 추정치 0.203과 거의 일치한다. 따라서 $\theta = \delta$와 같이 주타각과 플랩각을 동시에 취하였을 때(플랩타의 최적 조타 조건으로서 Kato는 $\theta = 2\delta$ 또는 $\theta = \delta$를 제안하였음), 타수직력 계수는 다음과 같이 추정이 가능하다. 예를 들면 Exp. cond.(II)에서 $\Delta C_N = 0.20$, A타의 기울기 2.339이므로 D타($\theta = \delta$일 때)의 기울기는 $2.339 + 0.20/(15° \times \pi/180) \approx 3.103$과 같다. 마찬가지 방법으로 Exp. cond.(I)에서는 3.246 정도가 된다.

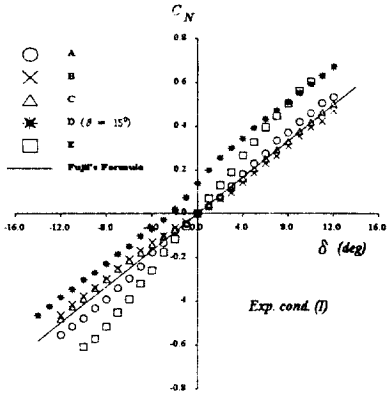

Fig. 7 Normal force coefficients of rudders in open water

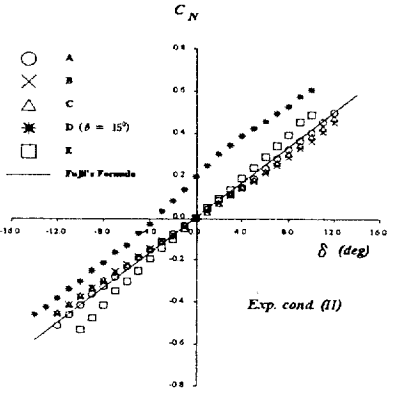

Fig. 8 Normal force coefficients of rudders in open water

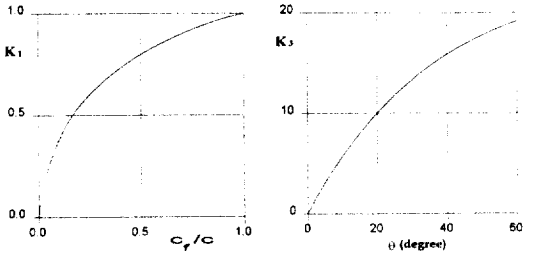

Fig. 9 Estimation charts for $k_1(c_f/c)$ and $k_3(\theta)$

다음으로 타의 양력 특성을 비교하기 위해서 Figs. 7, 8의 실험 자료를 선형 근사하여 타수직력 계수의 경사 f_α를 구하여 Fig. 10에 나타낸다. 단, D타의 경우에는 앞에서 언급한 방법에 의해서 추정한 값이다. Fig. 10에는 Kose의 타 단독 시험 결과[11]도 함께 비교하였다. Kose는 타의 종횡비 1.4214, $R_n = 0.12\times10^6$ 상태에서 실험을 수행하였으며, 플랩타의 경우에는 $\theta = \delta$ 즉, 주타각과 플랩각을 동일하게 설정하였다. Fig. 10으로부터 본 실험 결과는 Kose의 측정 결과와 정량적으로 거의 같은 경향을 보이고 있음을 알 수 있다. 한편, Fig. 10에서 E타의 경우 f_α값에 미치는 척도 효과가 다른 타에 비해서 크게 나타나고 있는데, 그 원인은 다음 사항에 기인하는 것으로 생각된다. 즉, Fig. 7에서 E타의 $\delta<0$ 영역에서의 타수직력이 $\delta>0$ 영역에서의 값과 비교하여 약간 과대하게 측정되었는데, 이러한 현상은 프로펠러 작동 방향과 관련된 E타 특유의 척도 효과의 영향이라 생각되지만, Exp. cond.(I)에서의 f_α 값은 큰 의미를 가지지 아니하므로 더 이상의 상세한 원인 규명은 생략하기로 한다.

이상과 같이 타 단독 성능을 비교, 검토한 결과, 볼록타와 오목타는 양력 특성 개선이 거의 기대될 수 없으며, 플랩타와 엔드플레이트타는 양력 특성이 상당히 개선될 수 있음을 알 수 있었다. 선박의 침로 안정성은 타 단독 성능 이외에 선미에서의 복잡한 유체 유동 현상과 밀접한 관계가 있으므로 다음 절에서 언급하는 각종 구속 모형 시험의 결과를 함께 검토, 분석하여야 할 것이다.

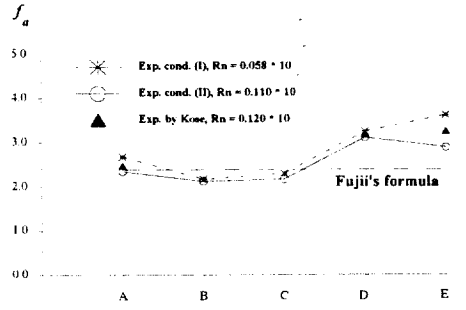

Fig. 10 Gradient of rudder normal force in open water

3.3 타수직력과 관련된 실험 정수 측정 시험

식(5), (6)에서 알 수 있듯이 침로 안정성을 좌우하는 실험 정수로서 타수직력과 관련된 것은 f_α 이외에 V_R, a_H, x_H', γ, l_R'가 있다. 한편, f_α가 결정되면 V_R은 타수직력 일치법을 이용하여 구할 수 있으나, 식(6) 우변 항에서 필요로 하는 $(V_R/V)^2 f_\alpha$를 하나의 항으로 간주하여 다음과 같이 구할 수도 있다.

$$(\frac{V_R}{V})^2 f_\alpha = [\frac{dF_N'}{d\delta}]_{\delta=0} \tag{11}$$

여기서 우변은 선체-프로펠러-타 시스템에서의 타수직력 F_N의 $\delta=0$ 부근에서의 기울기를 나타낸다. 단, $F_N' = F_N/(\frac{1}{2}\rho A_R V^2)$이다. l_R'는 지금까지 축적된 연구 결과에 의하면 $l_R' \approx 2x_R'$ 또는 $l_R' \approx -0.9 \sim -1.0$의 값을 취하는 것으로 평가되고 있으므로[12][13], 이 결과를 활용하기로 한다.

실험은 회류 수조에서 수행되었으며, 모든 실험 상태에서 선속(유속)은 실선 14.6 kt에 대응하는 Froude 수 0.1476이며, 별도의 언급이 없는 한 프로펠러 회전수는 ship point 이다. 타수직력과 관련된 실험 정수들의 측정 결과는 다음과 같다.

먼저 Fig. 11은 식(11)에 의한 $(V_R/V)^2 f_\alpha$ 즉, $[dF_N'/d\delta]_{\delta=0}$를 구한 실험 결과인데, 프로펠러 하중도 영향까지 함께 조사하였다. 여기서 n은 매초당 프로펠러 회전수, n_0는 ship point에 해당되는 프로펠러 회전수($n_0 = 17.9$)이다. 단, D타의 타수직력 경사는 타 단독 시험시에 언급한 해석 방법에 의해서 추정하였다. Fig. 11에 의하면 선체-프로펠러-타 시스템에서의 타수직력 경사는 A, B, C타의 경우 거의 비슷하고, D, E타의 경우 A타에 비해 크게 증가됨을 알 수 있다. 이러한 경향은 타 단독 시험 결과와 유사하다. Figs. 12, 13은 타와 선체의 간섭 유체력 a_H, x_H'의 측정 결과로서 프로펠러 하중도 변화를 함께 조사하였다. 이 실험 결과로부터 특수타의 채택에 따른 a_H, x_H' 값의 변화는 크지 아니함을 알 수 있다. 한편, a_H 값은 기대 이하로 작게 측정되었는데, 이렇게 된 이유에 대해서는 문헌[4]에서 상세히 언급한 바 있다. Figs. 14, 15는 정류계수 γ를 구하기 위한 실험 결과로서, 종축은 선체가 조종 운동시 타수직력이 영이 되는 타각 δ_R을 나타내고 있다. 따라서 Figs. 14, 15에서 $\delta_R = \gamma\beta$의 관계가 있다. Figs. 14, 15의 δ_R 측정 결과로부터 특수타의 채택에 따른 γ의 변화는 크지 아니함을 알 수 있다. Fig. 14는 프로펠러가 설치되지 아니한 상태에서의 δ_R의 거동을 보이고 있다. 여기서는 β의 양(+), 음(-) 양쪽 영역에서 δ_R이 거의 대칭적임을 알 수 있으며, 특수타의 채택에 따른 γ의 변화가 미소함을 나타태고 있다. Fig. 15는 프로펠러 작동시의 δ_R의 거동을 보이고 있다. 여기서는 β의 양(+), 음(-) 양쪽 영역에서 δ_R이 대칭적이 아니며, 대략 $-10° < \beta < 0°$ 영역에서 γ의 강한 비선형성을 보이고 있다. 특히 $\beta = -6°$ 전후에서 δ_R이 양(+)의 값으로 측정된 것은 약간 기이(奇異)하다고 생각된다. γ의 비선형 영향은 프로펠러 슬립이 클수록 현저하게 나타난다[14]. 이러한 경향은 프로펠러 작동 유무에 따른 본 실험 결과에서도 알 수 있다. 본 실험은 소형 모형선을 이용한 측정 결과 이므로 γ의 비선형 영향이 강하게 표출된 것으로 생각된다. 그러나 실선의 경우에는 프로펠러 슬립비 감소로 인하여 비선형 영향이 훨씬 줄어들 것으로 예상할 수 있다. 침로 안정성 검토를 위한 γ의 값은, Fig. 15에서 원점 부근에서의 기울기를 구하기 위해 δ_R의 비선형 영향은 고려하지 아니하고 $\beta = -2° \sim 8°$ 범위의 측정치를 선형 근사하여 구하였다. 단, D타의 경우에는 A타의 측정 결과를 그대로 이용한다. 이상과 같이 침로 안정성 검토를 위한 구속 모형 시험 결과를 Table 3에 나타낸다. 단, 타수직력과 관련된 실험 정수 이외에 선체 유체력과 부가 질량 등은 문헌[4]에서 구한 값을 그대로 사용한다

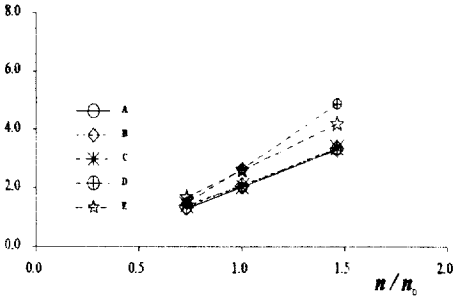

Fig. 11 Effect of propeller load on the slope of rudder normal force on the straight course

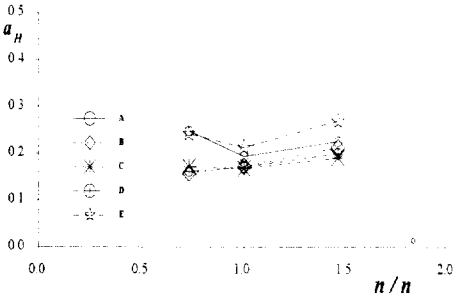

Fig. 12 Effect of propeller load on hull-rudder interaction factor a_H

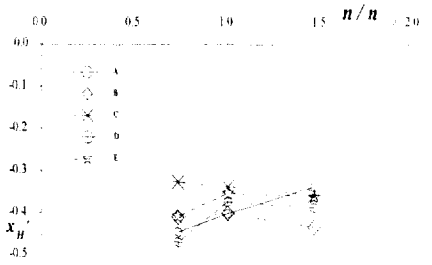

Fig. 13 Effect of propeller load on hull-rudder interaction factor x_H'

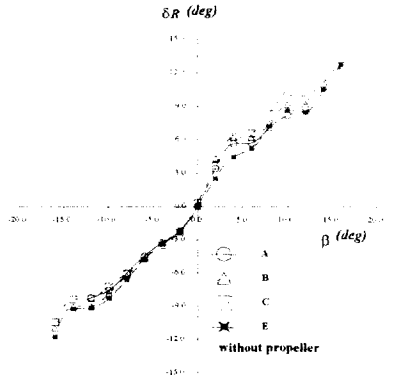

Fig. 14 Rudder angle at which the normal force acting on rudder is nulled out in obliquely running motion

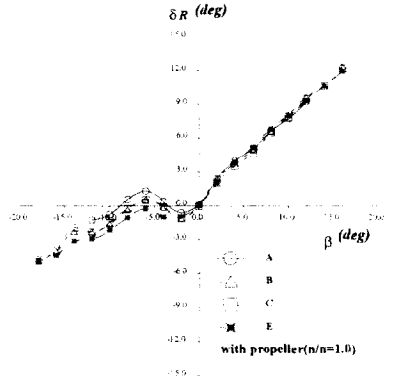

Fig. 15 Rudder angle at which the normal force acting on rudder is nulled out in obliquely running motion

Table 3 Hydrodynamic derivatives and coefficients

$Y_{\beta\ HP}'$	0.34265	$N_{\beta\ HP}'$	0.12626
$Y_{r\ HP}'$	0.05572	$N_{r\ HP}'$	-0.059796
m'	0.29803	m_x'	0.0205
x_R'	-0.5	l_R'	-0.9
x_G'	0.031		

Kind of rudder	$(\frac{V_R}{V})^2 f$	a_H	x_H'	γ
A	2.019	0.193	-0.403	0.751
B	2.080	0.167	-0.402	0.773
C	2.055	0.172	-0.339	0.766
D	2.643	0.170	-0.375	0.751
E	2.600	0.212	-0.354	0.807

한편, 특수타의 채택에 따른 침로 안정성 검토를 위해 본 연구에서 제시한 식(5), (6)의 유용성을 검증하기 위해서 유체력 미계수 형태로 표시한 식(5)를 유체력 형태로 바꾸어, 사항 시험 결과를 적용해 본 결과 식(5)의 관계가 잘 일치함을 확인하였다.

3.4 침로 안정성의 정량적 비교 및 분석

식(5), (6)을 이용하여 추정된, 특수타의 채택에 따른 조종성 미계수로부터 침로 안정성 레버 l_d'와 정상 선회 특성의 원점 부근에서의 기울기 K'를 각각 식(7), (8)을 이용하여 계산하였다.

한편, D타의 경우에는 플랩에 의한 양력 증가 영향이 Y_δ', N_δ'에만 나타나고 Y_β', N_β', Y_r', N_r'에는 아무런 영향을 미치지 못한다. 왜냐하면 식(4)로 표시된 F_N이 D타의 경우에는 다음과 같이 수정되기 때문이다[15].

$$F_N = \frac{1}{2}\rho A_R V_R^2 \{f_\alpha \delta - f_{\alpha\alpha}\gamma(\beta - l_R' r')\} \quad (12)$$

여기서 $f_{\alpha 0}$는 $\theta = 0°$ 일 때의 타수직력 경사, f_α는 플랩에 의한 양력 증가분을 고려한 타수직력 경사이다.

계산 결과는 Figs. 16, 17과 같다. 이 결과로부터 본 공시선형은 A타의 경우 침로 안정하다는 것을 알 수 있다. B, C타의 경우에는 각각의 실험 정수가 A타의 실험 정수와 거의 비슷한 범위내에 있으므로 특별히 침로 안정성에 영향을 미치지 못하고 있다. D타의 경우에는 제어 장치 고정 상태에서의 침로 안정성은 A타와 거의 동일하지만, 조타시에는 타효의 증가로 인하여 K' 값이 A타에 비해서 크다는 것을 알 수 있다. 즉, 플랩에 의한 양력 증가 현상은 침로 안정화에는 기여하지 못하고, 선회력의 향상만을 초래한다고 할 수 있다. E타의 경우에는 엔드플레이트에 의한 양력 개선 효과에 의해 침로 안정화 경향을 보이고 있다.

참고로, A타를 설치한 경우 위에서 언급한 바와 같이 본 공시 선형은 침로 안정한 것으로 판명되었는데($l_d' = 0.0774$), 만약 타의 영향을 고려하지 아니한 HP 상태에서의 l_d'를 계산하면 $l_d' = -0.1058$로서 침로 불안정하다는 결과를 보인다. 즉, HP 상태에서는 HPR 상태에서와 상이한 특성을 나타낸다. 따라서 침로 안정성의 판별은 반드시 Abkowitz형 유체력 미계수[6]를 이용하여야 함에 주의를 요한다. 한편, 본 공시선박이 비대 선형임에도 불구하고 침로 안정성이 양호한 이유는 선미 프레임라인 형상이 U형에 가깝기 때문으로 생각된다[16].

Figs. 16, 17에 나타낸 침로 안정성의 정량적 계산 결과는, 소형 모형선을 이용한 회류 수조에서의 실험 결과를 별도의 수정없이 그대로 사용하였기 때문에, 실선의 성능 추정 결과와는 약간 상이할 수도 있을 것이다. 그러나 특수타의 채택에 따른 침로 안정성의 상대적 비교, 검토에는 유용한 정보를 제공해 줄 것으로 생각된다.

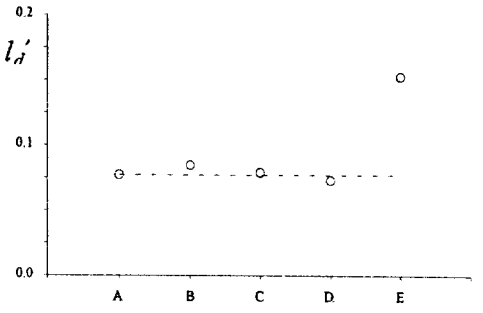

Fig. 16 Comparison of stability lever according to kind of rudder($n/n_0 = 1.0$)

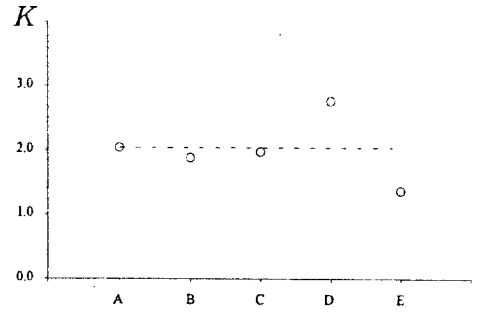

Fig. 17 Comparison of gradient of steady turning characteristics according to kind of rudder($n/n_0 = 1.0$)

4. 결 론

본 연구에서는 특수타의 채택에 따른 침로 안정성의 개선 효과를 조사하기 위해서, 타 단독 시험 및 선체-프로펠러-타 시스템에서의 각종 구속 모형 시험을 실시하였으며, 그 결과를 이용하여 침로 안정성을 분석적으로 비교, 검토하였다. 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 특수타의 단독 시험 결과, 볼록타와 오목타는 양력 특성이 개선되지 아니하며, 플랩타와 엔드플레이트타는 양력 특성이 크게 개선 된다는 것을 확인하였다. 특히 엔드플레이트타는 어느 정도 2차원 익(翼)의 특성을 가지므로 양력 개선 효과가 탁월하다.

(2) 선체-프로펠러-타 시스템에서 타수직력과

관련된 실험 정수의 측정 결과, 볼록타와 오목타는 계수 a_H, x_H', γ, $(V_R/V)^2 f_a$에 거의 영향을 미치지 아니하며, 플랩타와 엔드플레이트타는 $(V_R/V)^2 f_a$에는 큰 영향을 미치지만, a_H, x_H', γ에는 거의 영향을 미치지 않는다.

(3) 특수타의 설치가 침로 안정성에 미치는 영향은 다음과 같다, 볼록타와 오목타 그리고 플랩타는 침로 안정성에 거의 영향을 미치지 못하고, 엔드플레이트타는 침로 안정성을 크게 향상시킨다. 한편, 엔드플레이트타의 상하면에 설치된 판의 최적 형상에 관해서는 앞으로 검토해야 할 과제라 생각된다.

본 논문은 삼성중공업(주)와 한국해양대학교 부설 해양연구소의 공동 연구 과제 "타 형상 개선에 의한 조종 성능 향상에 관한 연구" 결과의 일부임을 밝히는 바입니다.

참 고 문 헌

[1] IMO, "Interim Standards for Ship Manoeuvrability", Resolution A.751(18), 1993.

[2] Kose, K., "船舶の運航安全と操縦性基準について", 船舶の操縦性基準に關する研究成果報告會, 日本造船研究協會, 1994.

[3] Nomoto, K., "Response Analysis of Manoeuvrability and Its Application to Ship Design", Japanese Society of Naval Architects 60th Anniversary Series Vol. 11, Chapter 2, 1966.

[4] 손경호, et al., "타의 면적 변화가 침로안정성에 미치는 영향에 관한 연구", 대한조선학회 논문집 제33권 제4호, 1996.

[5] Ogawa, A., et al., "MMG報告(I) - 操縦運動の數學Modelについて -", 日本造船學會誌, 第575號, 1977.

[6] Abkowitz, M. A., "Lectures on Ship Hydrodynamics - Steering and Manoeuvrability-", Hydro-og Aerodynamisk Laboratorium, Report No. Hy-5, 1964.

[7] Bingham, V. P., et al., "High Performance Rudders - with Particular Reference to the Schilling Rudder", Marine Technology, Vol. 24, No. 4, 1987.

[8] Fujii, H., "自航模型船による舵特性の研究", 日本造船協會論文集, 第107號, 1960.

[9] Okada, S., "單獨に置かれた舵の性能に關する實驗結果について - 舵の流體力學的研究 その 2 -", 日本造船協會論文集, 第 103號, 1958.

[10] Kato, H., et al., "Flapつき舵の研究 - 第1報 : 單獨試驗の結果 -", 日本造船學會論文集, 第124號, 1968.

[11] Kose, K., et al., "特殊舵の性能推定に關する研究", 西部造船會會報, 第84號, 1992.

[12] Kose, K., et al., "操縦運動數學Modelの具體化 - 船體・Propeller・舵の相互干涉とその表現 -", 第3回操縦性 Symposium text, page 49~50, 日本造船學會, 1981.

[13] Kijima, K., et al., "On the Manoeuvring Performance of a Ship with the Parameter of Loading Condition", Journal of the Society of Naval Architects of Japan, Vol. 168, 1990.

[14] Yoshimura, Y., et al., "實船操縦性能の豫測", 操縦性研究の設計への應用(運動性能研究委員會, 第12回 Symposium text), page 113, 日本造船學會, 1995.

[15] Yoshimura, Y., "Discussion on the Prodiction of ship Manoeuvrability with a Flapped Rudder", Final Report and Recommendations to the 21st ITTC, Trondheim, 1996.

[16] 日本造船研究協會, "操縦運動時の船體周圍流場に關する研究", 第221研究部會, 第1年度報告書, 1994.