

초기설계 단계에서 2軸2舵船의 조종운동 계산에 관한 연구

이승건*, 이경우**, 이승재***

A Study on the Prediction of Maneuvering Motion for a Twin-Screw Twin-Rudder Ship at Initial Design Stage

Seung Keon Lee*, Gyoung Woo Lee**, Seung Jae Lee***

Abstract

Mathematical model of maneuvering motion for a single-screw single-rudder ship is established and several applications to the special situations of maneuvering are attempted.

While, the mathematical model for twin-screw twin-rudder ship is not studied presented so much, because that type of ship is not popular.

Lee et al. have examined the characteristics of such ship by captive model tests in 1988, in Japan.

This paper proposes new mathematical models for propeller effective wake ($1-w_p$) and effective neutral rudder angle δ_R in the case of twin-screw twin-rudder ship. And some maneuvering motions are calculated with proposed models and compared with exact simulations.

* 부산대학교 조선해양공학과

** 목포해양대학교 해양 및 조선공학부

*** 부산대학교 대학원 조선공학과

1. 서론

2축2타선은 그 선형의 특수성 때문에 조종성 측면에서는 별로 문제가 없다는 것이 종래의 견해였다. 그러나 특수한 상황, 즉 강풍하에서의 조류中을 항해하는 경우와 같은 경우에는 2축2타선이라도 조종상에 문제가 생길수 있다는 것이 알려져, 이러한 선박에 대한 조종성측면의 연구가 시작되었다.

2축2타선과 같은 특수선형에 대해서는 이[1], Salo[2] 등에 의한 상세한 구속모형시험 결과로 그 특성이 알려지게 되었고, 1축1타를 기본으로 하는 기존 수학모델에 약간의 수정을 가함으로서 충분히 조종운동을 추정할 수 있음을 보였다.

본 논문에서는, 2축2타선에 대한 Propeller Effective Wake ($1-w_p$)와 유효중립타각(Effective Neutral Rudder Angle) δ_R 에 대한 추정모델을 제안하고, 선체의 유체력에 관해서도 Inoue의 추정식을 사용하여, 초기설계단계에서 선박의 주요치수, Propeller 및 타 제원만으로서 개략적인 2축2타선의 조종운동 계산을 가능하도록 하였다.

이 추정법에 의한 조종운동 계산결과를 엄밀한 구속모형 시험 Data에 의한 계산과 비교하여, 본 논문에서 제안된 추정법의 유용성을 검증하였다.

2. 조종수학모델

2.1 Hull 유체력

Fig.1과 같이 선체중상에 원점을 둔 좌표계 o-xy에 대하여 수평면상에서 강체운동하는 선박의 Surge-Sway-Yaw 운동방정식은

$$\begin{aligned} m(\dot{u} - vr - x_G r^2) &= X \\ m(\dot{v} + ur + x_G \dot{r}) &= Y \\ I_{xx} \dot{r} + m x_G (\dot{v} + ur) &= N \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 X, Y, N은 선박에 작용하는 유체력과 기타 추력, 타력이다
식(1)의 우변의 유체력중 Y, N에 대해서는 여러 가지 추정식이 제안되었으나, 어느 것도 구속모형시험을 대신할만한 수준의 유체력을 제공하지는 못하므로, 가장 대표적인 Inoue의 추정식을 사용하기로 한다.[3]

한편 X력에 대해서는 다음과 같이 모델화한다.

$$X = X(U) + X_{\dot{u}} \dot{u} + (X_{vr} - Y_{\dot{v}})vr + X_P \quad (2)$$

식(2)에서 저항 $X(U)$ 는 Holtrop[4]의 추정법에 의하여 추정하였다. 그 결과를 Fig.2에 보인다.

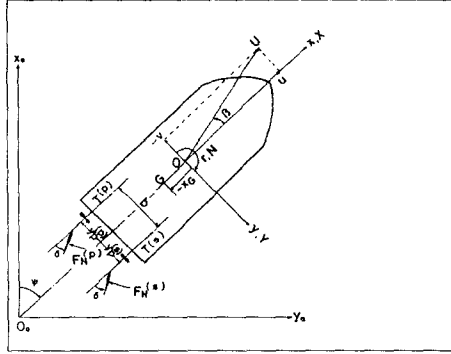


Fig. 1 Coordinate System

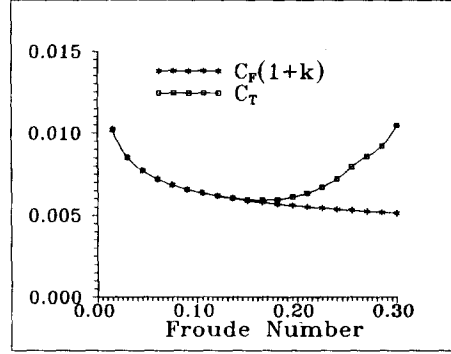


Fig. 2 Prediction of Hull Resistance

또 $X_{u'}$, $Y_{v'}$ 등은 Motora Chart로부터 추정하고 ($X_{vr} - Y_{v'}$)항은 Hasegawa Chart[5]를 직선으로 Fitting하여 다음과 같이 계산하였다.

$$\frac{X_{vr}' - Y_{v'}}{-Y_{v'}} = 1.613C_b - 0.471 \quad (3)$$

2.2 Propeller 추력의 수학모델

2축선의 Propeller 유효반류 ($1-w_p$)는 1축선의 경우와 상당히 다른 형태를 보인다. propeller위치에서 기하학적 횡유입유속 v_p 는

$$v_p = -\sin\beta + x_p r$$

여기서 β 는 횡표류각, x_p 는 Propeller x좌표, r 은 선회각속도이다.

즉 1축선의 경우 $v_p=0$ 인 경우 ($1-w_p$)는 최소값을 갖고 $|v_p|$ 가 커짐에 따라 증가하는 경향을 보이나 2축선의 경우 Fig.5에서 보여주는 바와 같이 좌, 우 Propeller의 ($1-w_p$)가 y축에 비대칭인 형태이다.

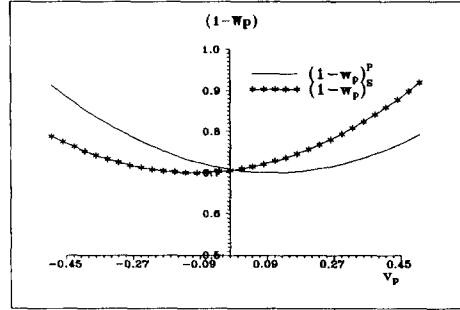


Fig. 3 $1-w_p$ for Port and Starboard Propeller

따라서 Propeller 반류가 최소가 되는 횡유입속도 v_p^* 를 다음과 같이 정의하여

$$v_p^* = \left| \frac{y_p}{x_p} \right| \quad (4)$$

x_p : Midship 에서 Propeller 까지 x좌표

y_p : Midship 에서 Propeller 까지 y좌표

$$\begin{aligned} (1-w_p)^P &= c(v_p - v_p^*)^2 + (1-w_{p0}) \\ (1-w_p)^S &= c(v_p + v_p^*)^2 + (1-w_{p0}) \end{aligned} \quad (5)$$

와 같이 수학 모델화 하였다. 여기서 v_p 에 관한 2차식을 사용한 것은 v_p^* 나 $-v_p^*$ 에서 최소가 되는 가장 간단한 형태의 함수이기 때문이다.

式(5)에서 $c=0.6$ 을 사용한다.(여기서, 첨자P는 Port Side를, S는 Starboard Side를 의미한다.)

2.3 타력의 수학모델

이[1] 등의 구속모형시험 결과에 의하면 타력의 수학모델에서도 2축2타선의 경우 u_R 은 종래의 1축1타선에 관한 것을 그대로 사용하고 v_R 즉 δ_R 만 새로운 형태의 모델을 사용하면 되므로 본 논문에서도 다음과 같은 δ_R 에 관한 수학모델을 제안한다.

$$\delta_R^P(\beta_R) = \begin{cases} 0.4\beta_R + \tan^{-1} \left| \frac{y_R}{x_R} \right| & (\beta_R \geq 0) \\ 0.6\beta_R + \tan^{-1} \left| \frac{y_R}{x_R} \right| & (\beta_R < 0) \end{cases} \quad (6)$$

$$\delta_R^S(\beta_R) = \begin{cases} 0.4\beta_R - \tan^{-1} \left| \frac{y_R}{x_R} \right| & (\beta_R \geq 0) \\ 0.6\beta_R - \tan^{-1} \left| \frac{y_R}{x_R} \right| & (\beta_R < 0) \end{cases} \quad (7)$$

이를 그림으로 나타내면 Fig.4과 같다.

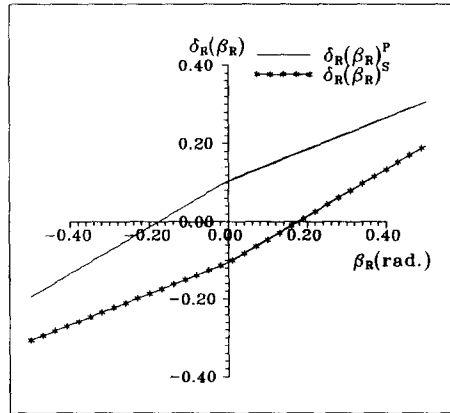


Fig. 4 $\delta_R(\beta_R)$ for Port and Starboard Rudder

Fig.4에서 각 직선의 기울기는 타워치에서의 유입류의 정류계수를 나타내는 것이다. 이 정류계수는 $Fn=0.1 \sim 0.3$ 정도의 선속의 경우, 타가 선회의 안쪽에 있을 때는 약 0.6, 밖에 있을 때는 약 0.4의 값을 가짐이 이[1] 등의 CMT 실험결과 밝혀진바 있으므로 이를 토대로 하여 식(6),(7)과 같은 수학모델을 구축하였다.

3. 조종운동의 계산 및 비교

2장에서 제안된 $(1-w_p)$ 와 $\delta_R(\beta_R)$ 의 추정수학모델을 사용하고, Table 1과 같은 모형선의 선체 유체력도 Inoue 및 Hasegawa 등의 추정식을 사용, 2축2타선의 조종운동을 계산하였다.

그 결과가 Fig.5,6,7이다. 그림에서 알 수 있듯이 Zig-Zag 운동은 상당히 정도 높게 추정이 가능하고 선회 궤적도 어느정도 추정가능함을 알 수 있다.

또한 Fig.6과 Fig.7를 비교하면 타각 35° 선회의 경우가 10° 선회에 비해 추정정도가 다소 나빠져 선회 각속도가 빨라져 있음을 알 수 있다. 이는 v_p 나 β_R 이 증가할 경우, $(1-w_p)$ 와 δ_R 의 수학모델에 수정이 필요함을 시사하고 있다.

한편, Fig.8은 정상선회특성 즉, spiral 특성을 나타낸 것으로 계산결과는 Fig.7의 선회시험 결과와 대응한다.

그리고, 2축2타선의 경우, 단추진기선에 비해 다양한 모드의 조타운동을 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 두가지의 조타 동작의 경우에 대한 선회성능을 평가한다. 계산 조건으로는 먼저, (1) 좌우rudder를 모두 20° 로 조타했을 때와 starboard rudder만 20° 로 작동한 경우, (2) 좌우rudder를 모두 -35° 로 조타했을 때와 starboard rudder만 -35° 로 작동한 경우 두가지 계산 결과를 각각 Fig.9,10에 나타낸다.

Fig.9,10과 같이 양쪽 타를 각각 다른 모드로 작동한 경우, 추정식을 이용하여 어느 정도 2축2타선의 선회성능을 추정할 수 있다.

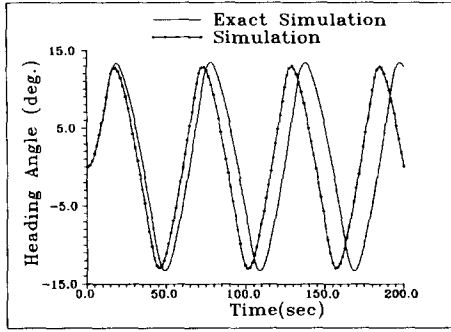


Fig. 5 10° - 10° Zig-Zag Simulation
($F_n = 0.122$)

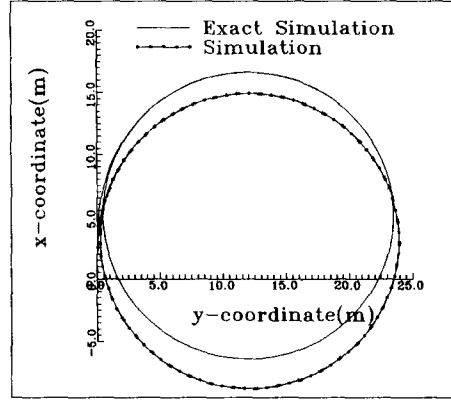


Fig. 6 Turning Simulation
($\delta = 10^\circ$, $F_n = 0.122$)

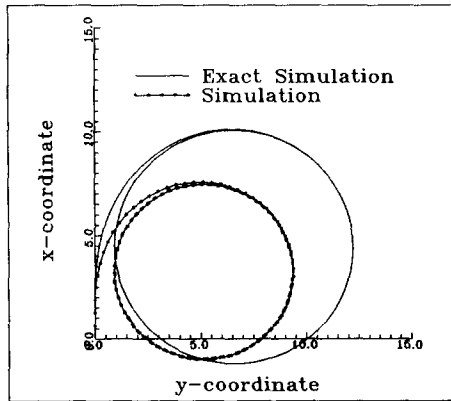


Fig. 7 Turning Simulation
($\delta = 35^\circ$, $F_n = 0.122$)

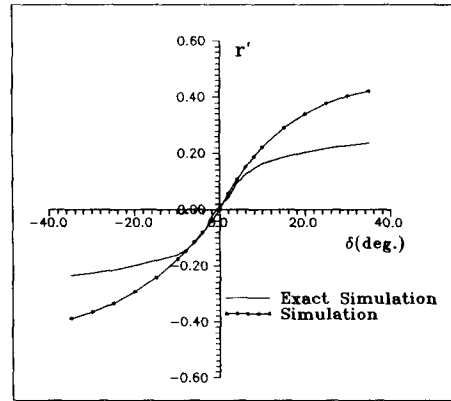


Fig. 8 Spiral Characteristics

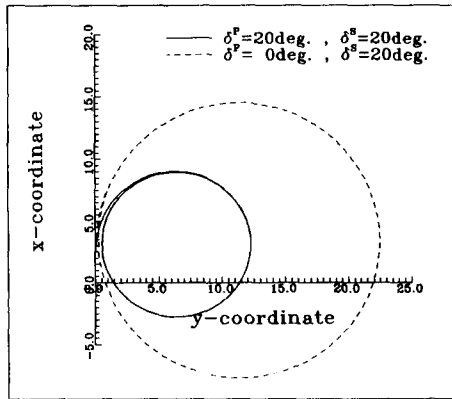


Fig. 9 Turning Simulation

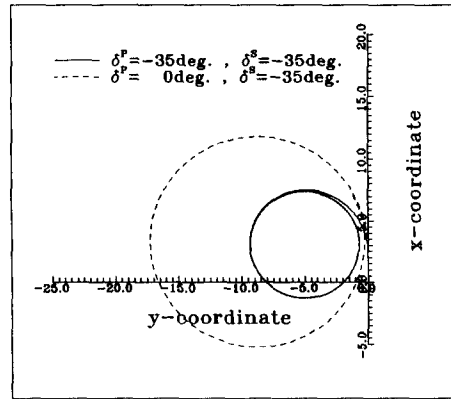


Fig. 10 Turning Simulation

Table 1 Principal particulars of model

Hull	Length between perpendiculars (L_{pp})		2.340 m
	Breadth moulded (B)		0.600 m
	Depth moulded (D)		0.140 m
	Mean draft (d)		0.077 m
	Trim		0.016 m
	Displacement (Δ)		80.60 kgf
	Center of buoyancy from \bar{X}		0.062 m (fore)
	Yaw radius of gyration (k_{zz})		0.2536 L_{pp}
	Distance between two propellers (b)		0.240 m
	Block coefficient (C_b)		0.769
Propeller	Number of blades		4
	Propeller diameter (D_p)		0.059 m
	Pitch ratio		0.735
	x-coordination of propeller (x_p)		-1.128 m
	Direction of turning (looking from stern)	Port propeller : Left hand Starboard propeller : Right hand	
Rudder	Type of rudder		Semi-balanced
	Rudder area (A_R)		0.004866 m ²
	Height of rudder (H)		0.074 m
	Gradient of normal force coefficient (f_n)		1.2067
	x-coordination of rudder (x_R)		-1.170 m
	Aspect ratio (Λ)		1.1255

4. 결 론

초기설계시 대략적인 2축2타선의 조종성능을 파악하기 위해 각종 추정식을 이용하고 또 propeller와 rudder에 대해서는 새로운 추정식을 제안하여, 2축2타선의 조종운동을 평가한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 본 추정법에 의해 개략적인 2축2타선의 조종운동 계산이 가능하였다.
- (2) $(1-w_p)$ 와 $\delta_R(\beta_R)$ 에 관해 제안된 모델은 2축2타선의 특징을 나타내도록 수식화하였다.

(3) 본 추정법을 2축2타선의 효율적 운용에 대한 검토에 활용할수 있다.

(4) 본 추정법은 더욱 많은 2축2타선에 적용하고 엄밀한 계산과 비교하여 그 유용성을 검증하여야 한다.

참 고 문 헌

1. 李承建, "2軸2舵船の操縦數學モデルについて", 東京大學 博士學位論文 (1988)
2. M.Salo & M.Heikkila, "On the modelling of hull-propeller-rudder interactions in manoeuvring of twin screw ships", Marsim & ICSM 90, Tokyo (1990)
3. Inoue et al., "The hydrodynamic derivatives on ship maneuverability in even keel condition", Journal of seibu zosen-kai (1978)
4. J.Holtrop & G.G.J.Mennen, "A statistical power prediction method", I.S.P. vol.25 (1978)
5. 日本造船學會 "第3回操縦性シンポジウム" (1981)