

2軸2舵船의 조종운동 推定에 관한 연구

이승건*, 김윤수**, 이승재***

Research on the Prediction of Maneuvering Motion for a Twin-Screw Twin-Rudder Ship

by

Seung Keon Lee*, Yoon Su Kim** and Seung Jae Lee***

요 약

1축 1타선에 대한 조종운동 수학기모델은 통상적인 경우 이미 확립되어 널리 사용되고 있다. 또한 저속이나 천수역에서의 조종운동계산에도 응용되고, 새로운 국면의 조종운동 해석에도 기존의 조종수학 모델이 근간이 되고 있다.

한편 2축 2타선과 같은 특수선형에 대해서는 Lee 등에 의한 상세한 구속모형시험 결과로 그 특성이 알려지게 되었고, 1축 1타를 기본으로 하는 기존 수학기모델에 약간의 수정을 가함으로써 충분히 조종운동을 추정할 수 있음을 보였다.

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

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

Abstract

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

While, the mathematical model for twin-screw twin-rudder ship is not presented so much,

발 표 : 1996년도 대한조선학회 추계연구발표회('96.4.19)

접수일자 : 1996년 5월 27일, 재접수일자 : 1996년 10월 21일

* 정회원, 부산대학교 조선해양공학과, 부산대학교 기계기술연구소 연구원

** 정회원, 삼성중공업 선박해양연구소

*** 부산대학교 대학원 조선공학과

because that type of ship is not popular.

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

This paper treats new mathematical models for propeller effective wake (1-wp) 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.

1. 서론

1축1타선에 대한 조종운동 수학모델은 통상적인 경우 이미 확립되어 널리 사용되고 있다. 또한 저속이나 천수역에서의 조종운동계산에도 응용되고, 새로운 국면의 조종운동 해석에도 기존의 조종수학 모델이 근간이 되고 있다.

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

본 논문에서는, 2축2타선에 대한 Propeller Effective Wake (1-wp)와 유효중립타각(Effective Neutral Rudder Angle) δ_R 에 대한 추정모델을 제안하고, 선체의 유체력에 관해서도 Inoue의 추정식을 사용하여, 초기설계단계에서 선박의 주요 치수, 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 선체중양에 원점을 둔 좌표계 o-xy에 대하여 수평면상에서 강제운동하는 선박의 Surge-Sway-Yaw 운동방정식은

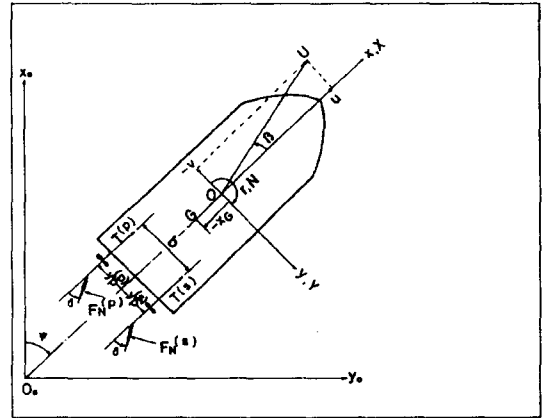


Fig. 1 Coordinate System

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

여기서 X, Y, N 은 선박에 작용하는 유체력과 기타 추력, 타력이다

式(1)의 우변의 유체력 X, Y, N에 대해서는 여러 가지 추정식이 제안되었으나, 어느것도 구속모형시험을 대신할만한 수준의 유체력을 제공하지는 못하므로, 가장 대표적인 Inoue의 추정식을 사용하기로 한다.[3]

$$\begin{aligned} Y_v' &= -\left(\frac{1}{2} \pi k + 1.4 C_B \frac{B}{L}\right) \left(1 + \frac{2}{3} \frac{\tau}{d_m}\right) \\ Y_r' &= \frac{1}{4} \pi k \left(1 + 0.80 \frac{\tau}{d_m}\right) \\ N_v' &= -k \left(1 - \frac{0.27}{l_v'} \frac{\tau}{d_m}\right) \end{aligned}$$

$$N_r' = -(0.54 k - k^2)(1 + 0.30 \frac{\tau}{d_m})$$

$$Y_{vr}' = -6.49(1 - C_b) \frac{d_m}{B} + 0.0795$$

$$Y_{vr}' = 1.82(1 - C_b) \frac{d_m}{B} - 0.447$$

$$Y_{rr}' = -0.4664(1 - C_b) \frac{d_m}{B}$$

$$N_{rr}' = -1.70 | C_b B/L - 0.157 |^{1.5} - 0.010$$

$$N_{vrr}' = -3.25 C_b B/L + 0.35 - 10^{-7} (\frac{L}{C_b B})^6$$

$$N_{vrr}' = 0.444 C_b d_m/B - 0.064$$

$$k = \frac{2d_m}{L}, \quad l_v' = k / (\frac{1}{2} \pi k + 1.4 C_b \frac{B}{L})$$

τ : Trim C_b : Block Coefficient

d_m : 평균흘수

한편 X력에 대해서는 다음과 같이 모델化 한다.

$$X = X(U) + X_u \cdot \dot{u} + (X_{vr} - Y_v)vr + X_p \quad (2)$$

式(2)에서 저항 X(U)는 Holtrop[4]의 추정법에 의하여 추정하였다.

그 결과를 Fig.2에 보인다.

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

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

이와 같이 Hull 유체력을 추정하여 Turning과 Zig-Zag 운동을 계산하고 이를 엄밀한 Simulation 결과와 비교하여 Fig. 3, 4에 나타내었다.

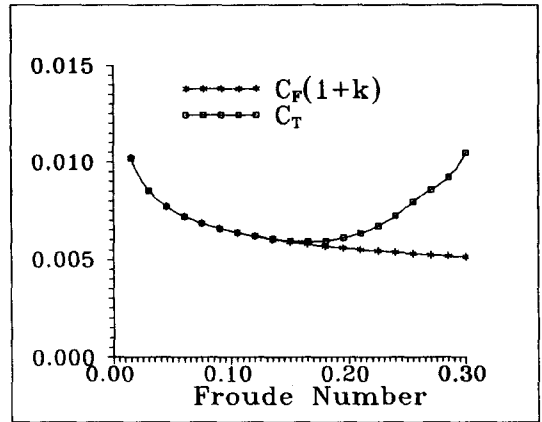


Fig. 2 Prediction of Hull Resistance

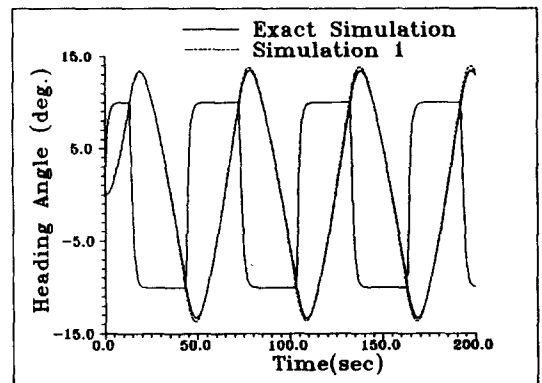


Fig. 3 10°-10° Zig-Zag Simulations (Fn = 0.122)

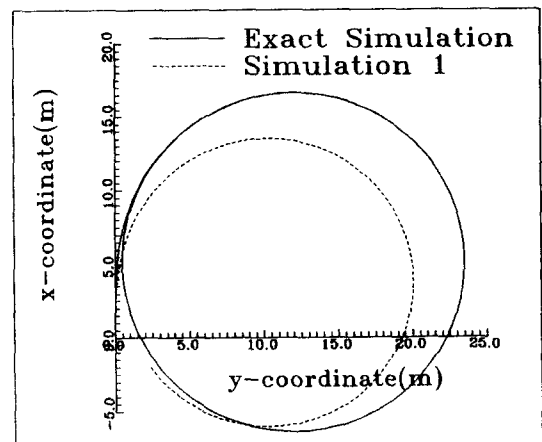


Fig. 4 Turning Simulations (δ = 10° Fn = 0.122)

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 _a)	1.2067
	x-coordination of rudder (x _R)	-1.170 m
	Aspect ratio (A)	1.1255

실제계산에 사용한 모형의 제원은 Table 1에 나타냈다.

Fig.3,4에서 실선은 선체유체력, 추력, 타력에 관한 모든 변수들을 구속모형시험으로 구한값을 이용한 엄밀한 계산결과이고, 점선은 선체유체력만을 추정식에 의해 계산한 결과이다.

그 결과, Turning 궤적은 다소 차이가 나지만, Zig-Zag 결과는 상당히 일치함을 보였다.

2.2 Propeller 推力の 수학적모델

2축선의 Propeller 유효반류 (1-w_p)는 1축선의

경우와 상당히 다른 형태를 보인다. propeller 위치에서 기하학적 횡유입속 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 최소 값을 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.

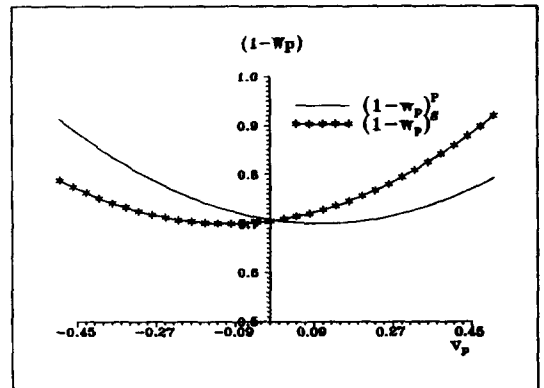


Fig. 5 1-w_p for Port and Starboard Propeller

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

$$v_p^* = \left| \frac{y_p}{x_p} \right| \tag{4}$$

x_p : Midship 에서 Propeller 까지 x좌표
y_p : Midship 에서 Propeller 까지 y좌표

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

와 같이 수학 모델화 하였다. 여기서 v_b 에 관한 2차식을 사용한 것은 v_b^* 나 $-v_b^*$ 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 舵力의 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.6과 같다.

Fig.6에서 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 CMT실험결과 밝혀진 바 있으므로 이를 토대로 하여 式(6),(7)과 같은 수학모델을 구축하였다.

3. 조종운동의 계산 및 비교

2장에서 제안된 $(1-w_b)$ 와 $\delta_R(\beta_R)$ 의 추정수학모델을 사용하고, 선체 유체력도 Inoue 및 Hasegawa 등의 추정식을 사용, 2축2타선의 조종운

동을 계산하였다.

그 결과가 Fig.7, 8, 9 이다.

그림에서 알 수 있듯이 Zig-Zag운동은 상당히 정도 높게 추정이 가능하고 선회체적도 어느정도 추정가능함을 알 수 있다 여기서 앞서 보인 Fig.3의 결과보다 Fig.7의 결과가 더 양호하게 보이나 이는 각각의 추정식에 의한 오차들이 서로 가감되어 나타난 것으로, 이들을 직접 비교하는 것은 별로 의미가 없는 일이라 생각된다.

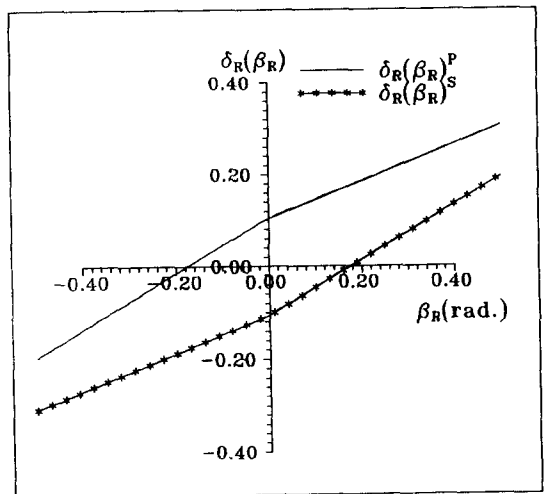


Fig. 6 $\delta_R(\beta_R)$ for Port and Starboard Rudder

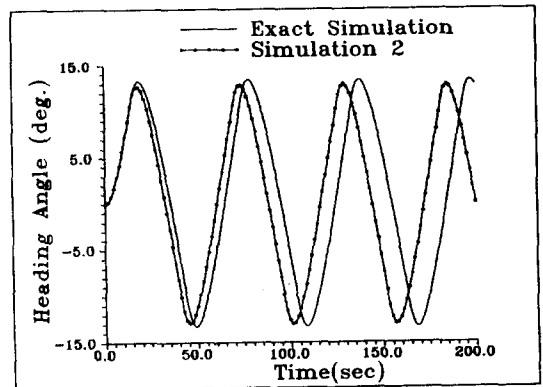


Fig. 7 10°-10° Zig-Zag Simulation (Fn = 0.122)

또한 Fig.8과 Fig.9를 비교하면 타각 35° 선회
의 경우가 10° 선회에 비해 추정정도가 다소 나빠
져 선회각속도가 빨라져 있음을 알수 있다. 이는
 v_p 나 β_R 이 증가할 경우, $(1-w_p)$ 와 δ_R 의 수학
Model에 수정이 필요함을 시사하고 있다.

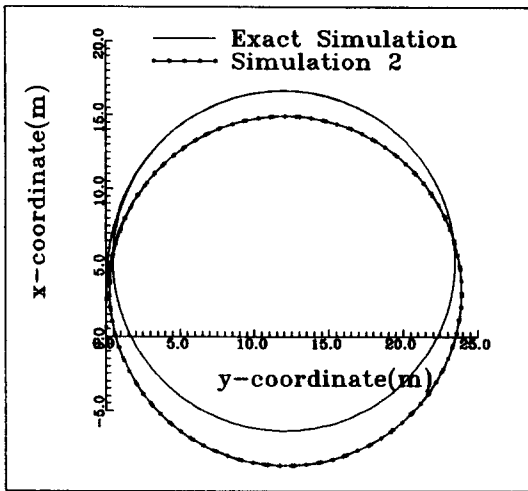


Fig. 8 Turning Simulation
($\delta=10^\circ$, $Fn = 0.122$)

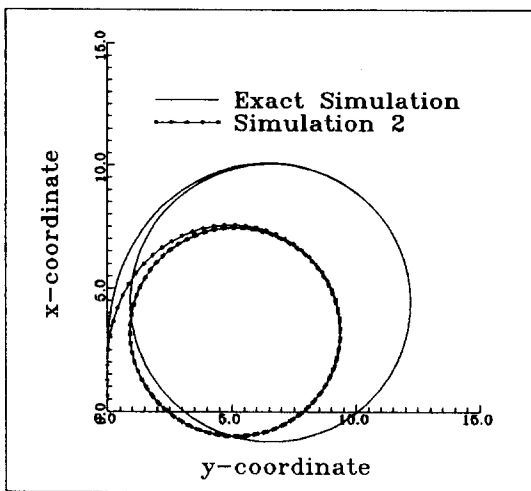


Fig. 9 Turning Simulation
($\delta=35^\circ$, $Fn = 0.122$)

4. 결론

2축2타선의 초기설계시 조종운동 추정을 위해
Propeller 반류 $(1-w_p)$ 와 유효 타 증립각 $\delta_R(\beta_R)$
에 관한 새로운 수학 모델을 제안하고 이를 이용
한 조종운동 계산을 통하여 다음과 같은 결론을
얻었다.

(1) 선체 유체력계산에 추정식을 사용한 경우,
Turning 궤적에 상당한 오차를 보였다. 따라서 선
체 유체력 추정에 관한 새로운 방법이 필요하다.

(2) $(1-w_p)$ 와 $\delta_R(\beta_R)$ 에 관해 제안된 모델은 2
축2타선의 특징을 나타내도록 수식화하였다.

(3) 본 계산법을 좀더 많은 2축2타선에 적용하
고 엄밀한 계산과 비교하여 그 유용성을 검증하는
것이 앞으로의 과제이다.

참고 문헌

- [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)