

## Flap 타 선박의 조종성능 추정 연구

김연규<sup>†\*</sup>, 김선영<sup>\*</sup>, 하병인<sup>\*\*</sup>, 김현식<sup>\*\*</sup>, 임채성<sup>\*\*</sup>

한국해양연구원 해양시스템안전연구소<sup>\*</sup>  
현대미포조선 주식회사<sup>\*\*</sup>

### Prediction of Maneuverability of a Ship with Flap Rudder

Yeon-Gyu Kim<sup>†\*</sup>, Sun-Young Kim<sup>\*</sup>, Byung-In Ha<sup>\*\*</sup>, Hyun-Sik Kim<sup>\*\*</sup>  
and Chae-Seong Lim<sup>\*\*</sup>

Maritime and Ocean Engineering Research Institute<sup>\*</sup>  
Hyundai Mipo Dockyard Co. Ltd.<sup>\*\*</sup>

#### Abstract

To improve ship's maneuverability high lift rudders like as Schilling rudder, flap rudder etc. were used. To predict the maneuverability of a ship with flap rudder HPMM tests are carried out. To analyze the test results modular model is used. To use modular model the forces of flap rudder must be measured separately from the hull forces. The flap rudder is made as independent system from the hull. To investigate the simulation results of modular model the tests results are analyzed by whole ship model, and simulated. The compared results of simulation show a good agreement except turning test. The reason is the different analysis result of flap rudder drag forces. From the present study it is possible to analyze HPMM tests of a ship with flap rudder by modular model.

※Keywords: Maneuverability(조종성능), Flap rudder(Flap 타), HPMM tests(HPMM 시험), Modular model(모듈형 수학모형), Whole ship model(급수형 수학모형)

#### 1. 서언

설계 관점을 선박의 저항·추진성능을 향상시키

는 것에 둔 선박의 경우 조종성능이 좋지 않게 되는 경우가 있다. 조종성능이 나쁜 선박의 조종성능을 향상시키기 위해서 고양력 타가 적용되기도 한다. 고양력 타에는 타의 형상을 고양력이 발생할 수 있도록 설계한 Schilling 타와 가동부의 끝단에 Flap을 두어 타각에 따라 각도를 증가시켜서 고양력을 발생시키는 Flap 타가 있다(강창구 등

접수일: 2005년 11월 20일, 승인일: 2006년 2월 13일

† 주저자, E-mail: ygkim@moeri.re.kr

Tel: 042-868-7262

1996). 또한 판다현상을 응용한 고양력 타가 있다 (최봉준과 김호철 2004). 본 논문에는 조종성능을 향상시키기 위해서 Flap 타를 적용한 선박의 조종성능을 추정하는 기법이 실려 있다. 전가동타와 혼 타에 대한 연구는 많이 수행되어 왔으나(김연규 등 2004, 양희준 등 2005), Flap 타에 대한 연구는 상대적으로 적은 편이었다.

일반적으로 HPMM(horizontal Planar Motion Mechanism) 시험에 의하여 Flap 타 선박에 대한 조종성능을 추정할 경우 선체에 작용하는 힘만을 이용하여 추정하는 급수형 수학모형(김선영 1988)을 이용하고 있다. 하지만 본 논문에서는 HPMM 시험에서 Flap 타에 작용하는 힘을 계측하여 모듈형 수학모형을 사용하여 HPMM 시험을 해석하는 것이 가능하였다. 이에 따라 HPMM 시험시 나타나는 Flap 타의 특성을 살펴보고, Flap 타 선박에 대한 모듈형 조종 수학모형의 검증은 기존의 급수형 수학모형에 의하여 추정된 결과와 비교하였다.

2. 수학모형

모듈형 조종수학모형은 다음과 같다(강창구 등 1996).

2.1 기본 수학모형

임의의 점에 원점을 가진 선박의 3자유도 조종 운동 방정식에 대한 방정식은 다음과 같다. 단 좌 표계와 부호 규약은 Fig. 1과 같다.

$$\begin{aligned} m(\dot{u} - v r - x_G r^2) &= X_H + X_P + X_R \\ m(\dot{v} + u r + x_G \dot{r}) &= Y_H + Y_P + Y_R \quad (1) \\ I_{zz} \dot{r} + m x_G (\dot{v} + u r) &= N_H + N_P + N_R \end{aligned}$$

식 (1)에서 아래첨자  $H, P, R$ 은 각각 선체, 프로펠러, 타에 의한 유체력을 나타내고, 위 첨자  $\cdot$ 는 시간에 대한 미분을 나타내며, 아래첨자  $G$ 는 무게중심의 위치를 의미한다. 식 (1)의 각 항을 나타내는 자세한 운동방정식은 다음에 나타나 있다.

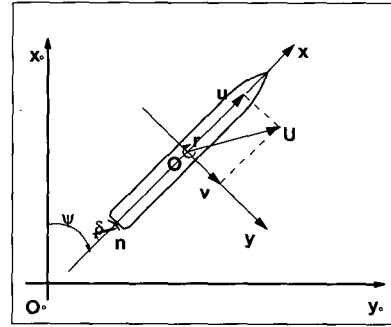


Fig. 1 Coordinates system

2.2 선체에 작용하는 힘과 모멘트

선체에 작용하는 선체길이 방향(Surge), 선체 횡방향(Sway) 및 선수요 방향(Yaw)에 대한 힘과 모멘트에 대한 표현은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} X_H &= X_{\dot{u}} \dot{u} + (X_{vr} + m_y)vr + X(u) \\ &\quad + X_{vv}v^2 + X_{rr}r^2 \quad (2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_H &= Y_{\dot{v}} \dot{v} + Y_{\dot{r}} \dot{r} + Y_v v + Y_r r \\ &\quad + Y_{uv}uv + Y_{vr}vr + Y_{vv}v^2r + Y_{vrr}vr^2 \quad (3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_H &= N_{\dot{v}} \dot{v} + N_{\dot{r}} \dot{r} + N_v v + N_r r \\ &\quad + N_{uv}uv + N_{vr}vr + N_{vv}v^2r + N_{rv}rv^2 \quad (4) \end{aligned}$$

$X(u)$  : 직진시 선체 저항

2.3 프로펠러에 의한 유체력

프로펠러에 의한 유체력은 다음과 같이 표현한다.

$$\begin{aligned} X_P &= (1-t)\rho n^2 D_p^4 K_T(J_P) \\ Y_P &\approx 0 \quad N_P \approx 0 \quad (5) \end{aligned}$$

2.4 타에 의한 유체력

타에 의한 유체력은 타에 작용하는 직압력  $F_N$ 을 이용하여 다음의 식과 같이 구한다.

$$X_R = -(1-t_R)F_N \sin \delta$$

$$Y_R = (1 + a_H) F_N \cos \delta \quad (6)$$

$$N_R = (x_R + a_H x_H) F_N \cos \delta$$

- $t_R$  : 타에 의하여 생기는 저항감소
- $a_H, x_H$  : 타에 의하여 선체에 작용하는 간섭효과
- $x_R$  : 타의 압력 중심의  $x$  좌표

$$F_N = \frac{\rho}{2} A_R U_R^2 f_a \sin \alpha_R \quad (7)$$

$A_R$  : 타 면적

$U_R$  : 타 유효 유입 속도,  $U_R = \sqrt{u_R^2 + v_R^2}$

$\alpha_R$  : 타 유효 유입각,

$$\alpha_R = \delta - \delta_0 + \tan^{-1}(v_R/u_R) \approx \delta - \delta_0 + v_R/u_R$$

$$u_R = \epsilon u_p \sqrt{\eta \left\{ 1 + \chi \left( \sqrt{1 + \frac{8K_T}{\pi J^2}} - 1 \right) \right\}^2 + (1 - \eta)}$$

$$u_p = (1 - w_p)u$$

$$v_R = -\gamma_R (v + \ell_R r)$$

$\eta$  : (Propeller 직경)/(타의 높이)

$\epsilon, \chi$  : 실험 계수

$f_a$  : 타 단독 특성

$\delta_0$  : 직진시 중립 타각

$\gamma_R$  : 정류 계수(Flow Straighting Coeff.)

$\ell_R$  : 실험 계수 ( $\approx 2x_R$ )

### 2.5 급수형 수학모형

급수형 수학모형(김선영 1988)은 선체 및 프로펠러에 작용하는 유체력에 대한 수학모형은 모듈형 수학모형과 같다. 단지 선체에 대한 수학모형이 프로펠러 및 타를 포함한 유체력을 이용하여 구한다는 것이 다르다. 급수형 수학모형에서 타에 의한 유체력은 다음의 식과 같이 구한다.

$$X_R = (X_{\delta\delta} + X_{\delta\delta\eta}(\eta - 1))\delta^2 \quad (8)$$

$$Y_R = (Y_{\delta} + Y_{\delta\eta}(\eta - 1))\delta + (Y_{\delta\delta\eta} + Y_{\delta\delta\eta\eta}(\eta - 1))\delta^2$$

$$N_R = (N_{\delta} + N_{\delta\eta}(\eta - 1))\delta + (N_{\delta\delta\eta} + N_{\delta\delta\eta\eta}(\eta - 1))\delta^2$$

$$\eta = \frac{J_C}{J}, \quad J_C = \frac{U_C}{nD_P}, \quad J = \frac{U}{nD_P}$$

### 3. HPMM 시험 및 해석

모형시험 대상 선형인 13K PC의 선체, 프로펠러 및 타에 대한 제원은 Table 1에 자세히 나타나 있고, 시험에 있어서의 모형선의 축척비  $\lambda$ 는 16.80이었으며, 흘수는 Scantling 상태에서 수행하였다. Fig. 2는 시험에 사용된 모형선 사진이다.

HPMM 시험은 해양시스템안전연구소가 보유하고 있는 예인수조에서 수행되었으며(김은찬과 양승일 1987), 시험은 모형선이 HPMM 장비에 취부된 상태에서 프로펠러와 타를 구동시켜 가면서 수행되었다(김선영 1988).

모형시험은 Scantling 상태에서 실선 속도 12.6 Knots( $V_m = 1.58$  m/sec)에서 실선자항점에 해당하는 프로펠러 회전수(9.28 rps)로 프로펠러와 타를 구동시켜서 모형선에 작용하는 힘과 모멘트, Flap 타에 작용하는 힘을 계속하였다. Fig. 3은 HPMM 시험 사진이다.

13K PC에 대해서 정적 시험과 동적 시험을 포함한 HPMM 시험을 수행하였으며, 선체 및 타에 작용하는 힘과 모멘트는 다음과 같이 무차원화하였다.

$$Force' = \frac{Force}{0.5\rho U^2 L^2}, \quad Moment' = \frac{Moment}{0.5\rho U^2 L^3} \quad (9)$$

Fig. 4에는 Flap 타에 작용하는 힘을 모형선과 분리하여 측정하기 위해서 제작한 Flap 타와 게이지의 고정부에 대한 사진이 나타나 있다.

Table 1 Principal dimensions of 13K PC

$L_{PP}(m)$	119.0	$D_P(m)$	4.2
$B(m)$	20.4	$P/D_P$	0.75
$T(m)$	8.6	$A_R(m^2)$	15.3
$Trim(m)$	0.0	$Flap\ Ratio$	29.9%
$LCG/L(\%)$	0.71	$C_B$	0.80

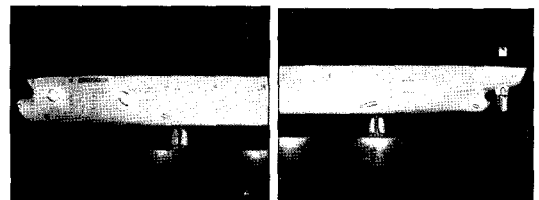


Fig. 2 Photographs of model ship

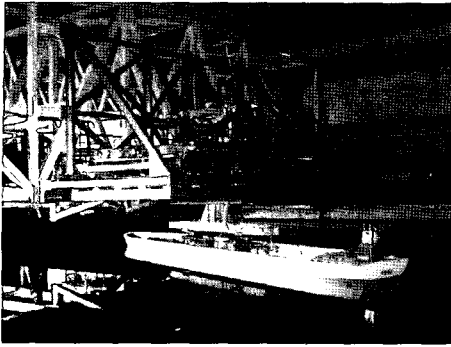


Fig. 3 Photograph of HPMM test

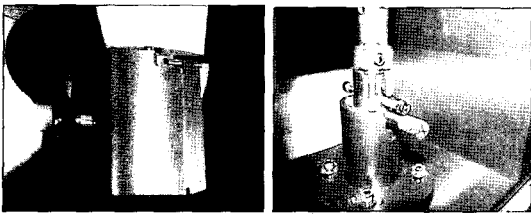


Fig. 4 Photograph of flap rudder

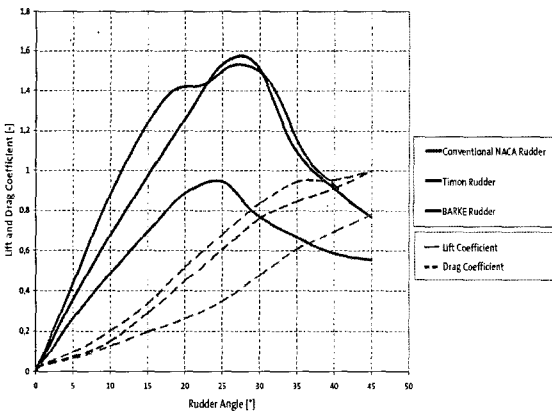


Fig. 5 Rudder open water test results

Fig. 5에는 Flap 타 제작사로부터 받은 타 단독 성능에 대한 결과가 나타나 있다. 그림에서 13K PC에 적용된 타는 Timon 타로 타각 20°까지는 가장 양력이 크다.

Fig. 6은 Static Rudder 시험에서 계측된 타에 작용하는 유체력에 대한 그림이고, Fig. 7은 정류 계수  $\gamma_R$ 를 구하기 위해서 수행된 Static Drift and

Rudder 시험에서 계측된 편류각에 따른 중립타각의 그림이다.

Table 2에는 HPMM 시험에 의해서 구해진 선형 계수들과 안정성 지수 및 타-선체 간섭 계수가 실려 있다. 선형 계수는 타를 포함한 선체 전체에 작용한 힘을 이용해서 구해진 값이다. 타 단독 성능을 나타내는  $f_a$ 의 경우 일반적인 타보다는 상당히 큰 값을 갖고 있는 것을 볼 수 있다.

비교 및 검증을 위하여 기존의 해석방법인 급수형 수학모형을 이용한 해석을 수행하였다.

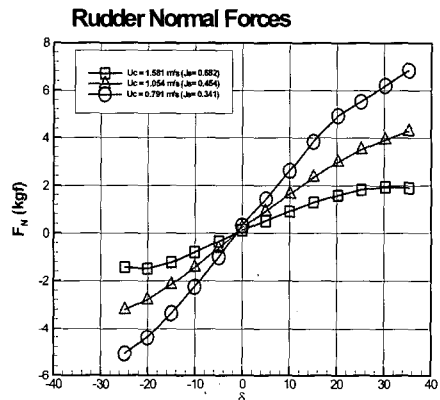


Fig. 6 Measured rudder forces from static rudder test

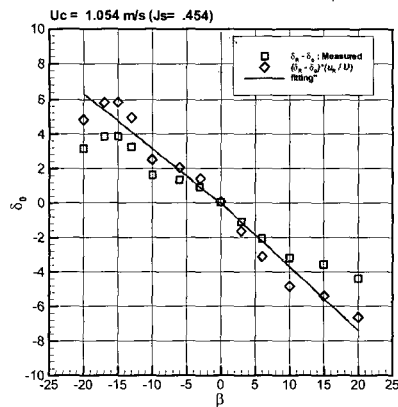


Fig. 7 Variation of neutral rudder angle with drift angles at static drift and rudder test

Table 2 Hydrodynamic coefficients and stability indices

$Y_v'$	-0.02057	$f_a$	5.044
$N_v'$	-0.01113	$\gamma_R^+$	0.321
$Y_r'$	0.00822	$\gamma_R^-$	0.275
$N_r'$	-0.00417	$a_H$	0.575
$l_v'$	0.541	$x_H$	-0.366
$l_r'$	0.369	$\epsilon$	1.154
$l_d'$	-0.172	$\chi$	0.446

#### 4. 시뮬레이션 결과

이상과 같이 해석되어진 결과를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과를 기존의 급수형 수학모형을 이용한 시뮬레이션 결과와 비교한 그림이 Fig. 8 ~ 10에 나타나 있다.

Fig. 8은 10°/10° Zig-Zag 시험을, Fig. 9는 20°/20° Zig-Zag 시험을 시뮬레이션한 것으로, 그림을 보면 약간의 시간 지연 현상을 보여주지만, 전체적으로 두 수학모형의 시뮬레이션 결과가 매우 비슷한 것을 알 수 있다. Fig. 10에는 좌현 35° 선회시험을 시뮬레이션한 결과가 실려있는데, 두 수학모형의 결과는 큰 차이를 보여주고 있는 것을 볼 수 있다. 이것은 그림에서 보아도 알 수 있듯이 급수형 수학모형을 사용할 경우 속도가 더 많이 떨어지는 것에 기인하는 것으로 판단된다.

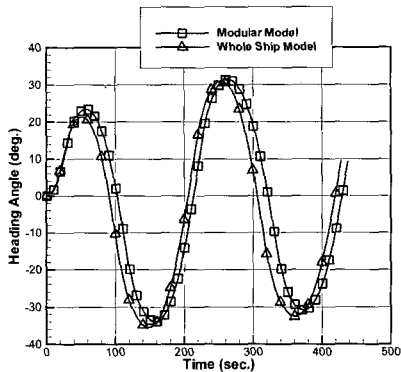


Fig. 8 Simulation results of 10°/10° zig-zag test

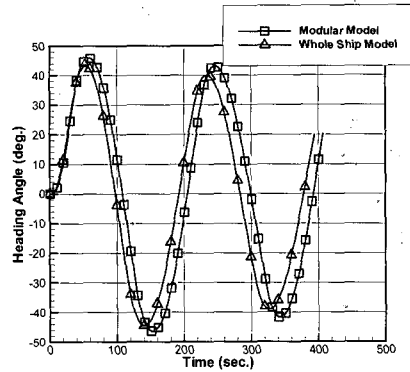


Fig. 9 Simulation results of 20°/20° zig-zag test

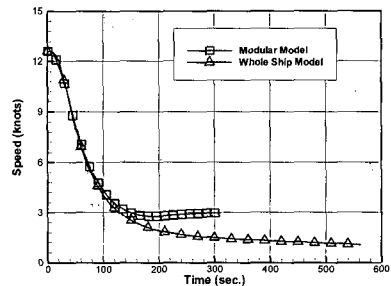
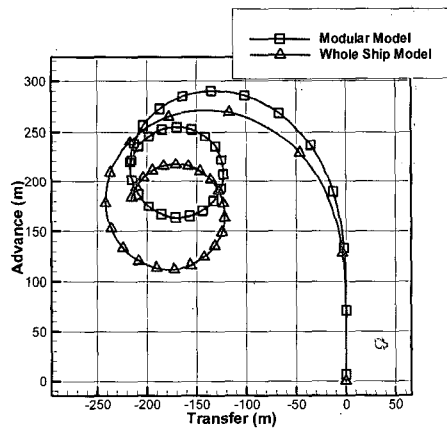


Fig. 10 Simulation results of 35° Port Turning Test

속도가 떨어질 경우 급수형 수학모형에서는  $X_{\delta\delta\delta}$ 에 의하여 타에 의한 항력이 증가하게 되어 속도를 더 떨어지게 하는 현상이 생긴다. 속도가

떨어지는 것에 의한 영향은 타각이 작은 Zig-Zag 시험에서는 그다지 크게 나타나고 있지 않으며, 단지 타각이 큰 선회시험에서만 나타나는 것으로 생각되고, 급수형 수학모형을 이용할 경우 타에 의한 항력 성분이 모듈형 수학모형에 비하여 상대적으로 과도하게 평가된 것으로 사료되며, 이에 대한 검토가 요구된다.

5. 결 언

본 논문에서는 조종성능을 향상시키기 위해서 적용하는 Flap 타에 대해서 모듈형 수학모형을 사용하여 해석을 수행하였다. 조종성능을 추정하기 위해서 모형선에 대한 HPMM 시험을 수행하였으며, 시험시 Flap 타에 작용하는 힘을 선체와 분리하여 계측할 수 있도록 Flap 타를 제작하였다. 이에 따라 Flap 타를 모듈형 수학모형을 사용하여 해석하는 것이 가능하여졌다.

모듈형 수학모형을 HPMM 시험의 해석에 적용하여 조종 시뮬레이션을 수행하였으며, 시뮬레이션 결과의 검증에 위하여 기존의 수학모형인 급수형 수학모형을 이용하여 수행한 시뮬레이션 결과와 비교하였다. 비교 결과 Zig-Zag 시험의 경우 매우 잘 일치하는 것을 볼 수가 있으며, 선회시험의 경우 Flap 타의 항력 해석에 따른 속도 감소의 차이에 의하여 시뮬레이션 결과가 차이를 보이는 것을 볼 수 있었다. 추후 Flap 타에 의한 항력 성분 해석에 대한 연구가 더 필요하다고 생각된다.

후 기

본 연구는 현대미포조선(주)에서 위탁한 조종성능 추정 연구과제에 대한 연구결과의 일부이다.

참 고 문 헌

- 강창구 등, 1996, 저속비대선의 조종성능 고도화 기술 개발 II, 선박해양공학연구센터 보고서 BSG181-1593.D.
- 김선영, 1988, 조종성능 추정기법 개발, 한국기계연구소 보고서 UCE337-1082.D.
- 김은찬, 양승일, 1987, 저항, 저항시험 해석 프로그램 개발, 한국기계연구소 소보, Vol. 17. pp. 133-144.
- 김연규, 김선영, 김성표, 이석원, 2004, "타의 종류에 따른 컨테이너선의 조종성능 특성 연구," 대한조선학회 논문집, 제 41권, 제 5호, pp. 28-33.
- 양희준, 송인행, 부경태, 2005, "전가동타를 적용한 컨테이너선의 조종성능 연구," 대한조선학회 추계학술대회 논문집, pp. 392-397.
- 최봉준, 김효철, 2004, "관다현상을 응용한 고양력 발생 타장치에 조종성능에 미치는 영향에 대한 연구," 대한조선학회 춘계학술대회 논문집, pp. 88-93.



< 김 연 규 >

< 김 선 영 >