

선박의 조종성 미계수에 미치는 타의 영향에 관한 실험적 연구

최 명 식* · 윤 점 동**

Experimental Study on Influences of Rudder on Maneuvering Derivatives

Myong-Sik Choi · Jeom-Dong Yoon***

〈목 차〉

Abstract	3.2 시험결과 및 고찰
1. 서 론	3.3 미계수에 미치는 타의 영향
2. 조종성 수학모델	4. 결 론
3. 구속모형시험	참고문헌
3.1 회류수조 및 공시선형	

Abstract

In the present trends at which vessels would be supersizedly designed for adapting special cargoes in order for effective controls of logistics in marine transportation, it brings poor manoeuvrability of ships and makes environmental or economical loss seriously due to accidents of a large scale at sea. International Maritime Organization adopted manoeuvring standards and also recommended manoeuvring booklets for ship operators recently. We attempted to find variation of hydrodynamic derivatives when a bare hull was fitted with propeller and rudder, or propeller only by captive model test in the circulating water channel.

On comparing experimental results with theoretical values derived from equations, almost same tendencies were found at hull-propeller-rudder and hull-propeller situations. Interactions with rudder displayed well at large drift angles.

1. 서 론

최근 해상 수송에서의 효율적인 물류 관리라는 측면에서 선박은 전용선화, 대형화되는 추세에 있

다. 이러한 선박의 대형화는 조종성능의 불량을 가져오게 하고 선박의 해난사고로 인하여 막대한 환경 문제와 인적, 경제적 손실을 초래하였다. 이와 관련하여 국제해사기구(International Maritime

* 정희원, 목포해양대학교

** 정희원, 한국해양대학교

Organization, 영문약칭 IMO)에서는 선박의 안전 운항에 필요한 최소한의 성능 확보를 위해서 조종성기준(manoeuvring standards)을 제18회 총회에서 의결하였고 이 기준은 이미 1994년 7월 1일부터 적용되었다[1]. 뿐만 아니라 국제해사기구에서는 조선소로 하여금 신조선의 조종성능에 관한 상세한 정보를 기재한 조종성 지침 소책자(manoeuvring booklets)의 작성을 권고하고 있다[2]. 따라서 이러한 국제적 추세를 감안한다면, 초기 설계 단계에서부터 조종성능을 충분히 고려한 선형 설계가 필수적이며, 조종성능 추정법의 확립 또한 시급한 과제라 아닐 수 없다.

선박의 조종성능은 많은 파라메타에 의존하며 외력항을 구성하는 동유체력 미계수를 결정하는 것은 선박의 조종성능을 평가하는 중요한 문제가 된다. 조종성 미계수를 구하기 위한 여러가지 구속 모형시험에는 프로펠러나 타와 같은 부가물의 유무에 의해 여러가지 상태의 실험을 생각할 수 있다. 선형간 조종성능을 비교, 검토하는 경우, 우선 선체 자신의 특성을 명확하게 하고 여기에 타, 프로펠러의 영향을 부가시키는 방법은 실용적인 의미에 있어서도 유효한 것으로 생각될 수 있는데, 지금까지는 이 시험을 프로펠러 및 타를 장착한 경우와 선체단독의 경우 2가지 상태에 대하여 실시하고, 동시에 이러한 결과 사이의 관계에 대하여 검토한 보고는 의외로 적은 것으로 생각된다[3].

본 논문에는, 주선체에 프로펠러와 타를 장착한 상태(이하 HPR 상태로 약칭) 그리고 선체에 프로펠러만을 장착한 상태(이하 HP 상태로 약칭)에서 구속 모형시험을 실시하고 그 결과를 통하여 유체력 미계수의 변화를 알아 보았다. 또한 HPR 상태와 HP 상태의 실험 결과와 미소한 조종운동에서의 이들 양유체력 미계수 사이의 관계로부터 계산되는 이론식과 비교하였다[7].

이와같은 이론적 고찰과 실험결과의 비교는 타면적을 변화시킬 때 미계수가 어떻게 변화하는가 하는 문제나 척도 영향의 문제 등을 고려하는데 아주 편리할 것으로 사료된다. 본 연구에서는 선박의 조종성능 추정 및 조종성능 향상 기법 개발의 일환으로 주선체와 타가 조종성 미계수에 미치는

간접 영향을 실험적으로 조사, 분석하고, 이들 실험 자료를 이용하여 유체력 미계수의 정성적인 변화를 알아보았다. 시험에 사용했던 선박은 대표적인 비대선형으로서 실선실험 자료[4] 뿐만 아니라 모형시험 자료[5]가 널리 공표되어 있는 Esso Osaka호(실선의 수선간장 325m, 278,000 DWT) 선형의 2m 모형선이었고, 회류수조에서 사항시험을 실시하여 각 조건에 있어서의 조종성 미계수를 조사, 분석하였다. 한편, 구속 모형시험의 해석을 위한 조종성 수학모델로는 최근 전세계적으로 호평을 받고 있는 모듈형 수학모델 즉, MMG 수학모델을 이용하였다[6].

2. 조종성 수학모델

Fig. 1과 같이 선체에 고정된 동좌표계를 $G-xyz$, 수면에 고정된 공간좌표계를 $\bar{O}-XYZ$ 라 할 때, 동좌표계의 각 축을 관성주축이라 가정하면 부가 질량력을 고려한 조종운동의 기본식은 다음과 같이 정식화된다.

$$\begin{aligned}(m+m_x)\dot{u} - (m+m_y)vr &= X \\ (m+m_y)\dot{v} + (m+m_x)ur &= Y \\ (I_z+J_z)\dot{r} &= N - x_G Y\end{aligned}\quad (1)$$

여기서 m , m_x , m_y 는 각각 선체의 질량, x 축 방향 부가질량, y 축 방향 부가 질량이다. I_z , J_z 는 각각 z 축 주위의 질량 관성모멘트, z 축 주위의 부가 관성모멘트이다. u , v , r 은 각각 무게중심 G 에서의 x 축 방향의 속도 성분, y 축 방향의 속도 성분, z 축 주위의 각속도 성분이다. \dot{u} , \dot{v} , \dot{r} 는 각각 u , v , r 의 1차도함수이다. X , Y , N 은 각각 무게중심 G 가 아닌, 선체중앙(midship)에서의 x 축 방향 동유체력, y 축 방향 동유체력, 선체중앙을 지나고 z 축에 평행한 축에 관한 동유체력 모멘트이다. x_G 는 선체중앙을 좌표원점으로 취했을 때 무게중심 G 의 x 좌표이다. 한편 동유체력 X , Y , N 을 무게중심 G 가 아닌, 선체중앙에 관해서 정의한 이유는 동유체력의 이론 계산과의 비교 또는 구속 모형시험상의 편의를 도모하기 위한 것이다.

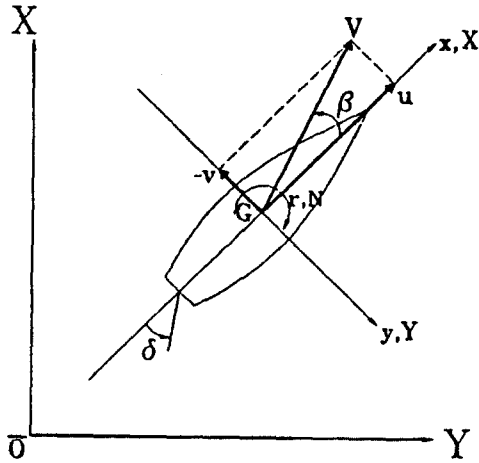


Fig. 1 Coordinate system

선체중양에서의 동유체력 X, Y, N 은 MMG 수화 모델[6]에서 다음과 같이 표시된다.

$$\begin{aligned} X &= X(u) + (1-t)T + 0.5\rho L d V^2 \{X'_{vv} v'^2 + X'_{vr} v' r' + X'_{rr} r'^2\} - C_{Rx} F_N \sin\delta \\ Y &= 0.5\rho L d V^2 \{Y'_{vv} v'^2 + Y'_{vr} v' r' + Y'_{vvv} v'^3 + Y'_{vvr} v'^2 r' + Y'_{vrr} v' r'^2 + Y'_{rrr} r'^3\} - (1+a_H) F_N \cos\delta \\ N &= 0.5\rho L^2 d V^2 \{N'_{vv} v'^2 + N'_{vr} v' r' + N'_{vvv} v'^3 + N'_{vvr} v'^2 r' + N'_{vrr} v' r'^2 + N'_{rrr} r'^3\} - (x_R + a_{Hx}) F_N \cos\delta \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 C_{Rx}, a_H, x_H 는 선체와 타의 상호간섭영향을 나타내는 실험정수이다. 그리고 선체운동 변수 u, v, r 과 동유체력 X, Y, N 은 다음과 같이 무차원화 하였다.

$$\begin{aligned} u', v' &= u, v/V \\ r' &= r(L/V) \\ X', Y' &= X, Y/0.5\rho L d V^2 \\ N' &= N/0.5\rho L^2 d V^2 \end{aligned} \quad (3)$$

단, L : 선체 길이(수선간장), d : 평균 흘수, V : 합속도, ρ : 유체의 밀도

그리고 타직압력 F_N 은 다음과 같이 표시된다.

$$F_N = 0.5\rho A_R f_a V_R^2 \sin\alpha_R \quad (4)$$

여기서

$$f_a = 6.13\Lambda / (2.25 + \Lambda)$$

단, Λ : 타의 종횡비

그리고 타에의 유효 유입속도 V_R 은

$$V_R = \sqrt{u_R^2 + v_R^2} \quad (5)$$

$$U_R = \epsilon n p \sqrt{1 - 2(1 - \eta k)s + [1 - \eta k(2 - k)]s^2} \quad (6)$$

$$v_R = \gamma_R(\beta - \ell'_{Rr'}) \quad (7)$$

여기서 $\epsilon = (1 - w_R)/(1 - w_P)$

$$w_P = w_{P0} \exp\{-4.0(\beta - x'_P r')^2\}$$

$$w_R = w_P w_{R0}/w_{P0}$$

$$k = k_x/\epsilon$$

$$\eta = D/H$$

$$s = 1 - u_P/(nP)$$

$$u_P = u(1 - w_P)$$

단, w_{P0}, w_{R0} : 직진시 프로펠러 및 타 위치에서의 유효 반류계수

k_x : 프로펠러에 의한 유체흐름의 증속율

D : 프로펠러 직경, H : 타의 높이

P : 프로펠러 펓치, γ : 정류계수

그리고, 타에의 유효유입각 α_R 은

$$\begin{aligned} \alpha_R &= \delta - \tan^{-1}(v_R/u_R) \approx \delta - v_R/u_R \\ &= \delta - \gamma(\beta - \ell'_{Rr'}) \end{aligned} \quad (8)$$

으로 표시된다.

3. 구속 모형시험

3.1 회류수조 및 공시선형

(1) 회류수조

본 연구에서 구속 모형시험에 이용한 회류수조는 길이 12.5m, 폭 2.2m, 최대 높이 5.2m인 2 임펠러 방식의 수직 순환형으로서, 관측부인 개구부는 길이 5m, 폭 1.8m, 수심 0.9m이다. 본 회류수조의 개략도를 Fig. 2에 나타낸다. 구속 모형시험을 실시하기 직전의 관측부에서의 유속분포를 Fig. 3, Fig. 4에 나타낸다. 유속 측정에는 프로펠러식 유속계를 이용하였으며, 제파판(wave suppressing plate)으로부터 1.0m 후방위치 (2m 모형선을 설치한 타에 슈피스(shoe piece)가 설치되어 있으나 본

하였을 때 모형선의 F.P.위치)의 횡단면에서 수직 방향과 수평 방향으로 유속을 측정하였다. 전체적인 유속의 균일도는 양호한 편이라고는 볼 수 없지만 모형선 부근에서 유속의 편차는 대략 3%미만이었다.

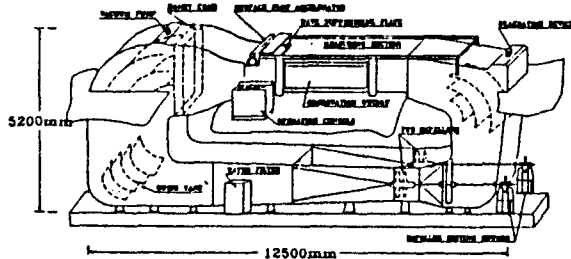


Fig. 2 Schematic diagram of circulating water channel

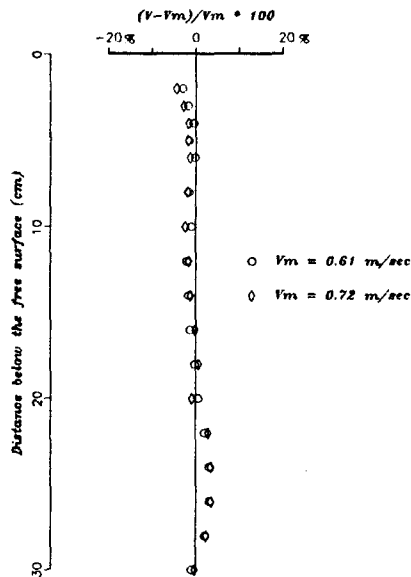


Fig. 3 Velocity distribution on the centerline of working section(V_m : mean velocity)

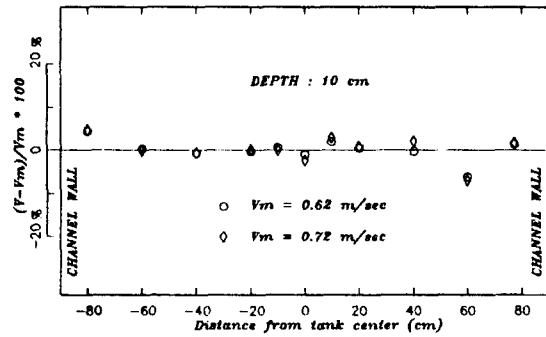


Fig. 4 Velocity distribution breadth-wise at working section(V_m : mean velocity)

(2) 공시선형

본 연구에서는 최근 선형 비대화가 한층 진전되고 있음을 고려하고, 실선시험 자료[4] 뿐만 아니라 각종 구속 모형시험과 자유항주 모형시험 자료[5]가 널리 공표되어 있는 대표적인 비대선형인 278,000 DWT 탱커 Esso Osaka호 선형을 선정하였다. Esso Osaka선형의 주요목을 Table 1에, 정면도를 Fig. 5에 나타내었다. 한편, 실선의 경우에

Table 1. Principal particulars of ship & model

Items		Ship	Model
HULL			
Length B.P.	L(m)	325.0	2.0
Breadth	B(m)	53.0	0.3262
Mean draft	d(m)	22.05	0.1357
Trim	(m)	0.0	0.0
Block coefficient C_B		0.83	0.0
RUDDER			
Height	H(m)	13.85	0.085
Area ratio		1.58	1.58
Aspect ratio,		1.54	1.54
PROPELLER			
Number of blades		5	5
Diameter	D(m)	9.1	0.0537
Pitch ratio	P/D	0.705	0.820
Expanded area ratio		0.682	0.650

모형선의 경우에는 행강타(hanging rudder)의 형태를 취하고 있다. 그리고 모형 프로펠러와 모형 타는 Table 1에 나타나 있다.

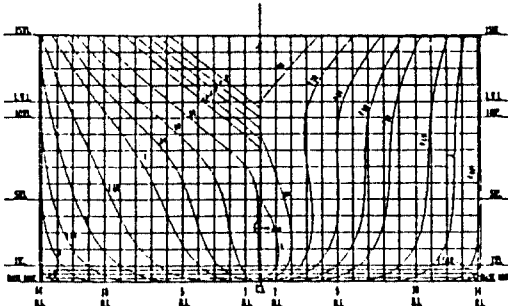


Fig. 5 Body plan of ship model

3.2 시험 결과 및 고찰

(1) 선체에 작용하는 동유체력의 측정 결과

조종운동시 v , r 에 기인하는, 선체에 작용하는 동유체력을 측정하기 위해서는 사항시험(oblique tow test)과 구속 선회시험(circular motion test) 또는 강제 동요시험(planar motion mechanism test) 등을 실시하여야 한다. 이 중에서 소형 회류수조에서 실제 가능한 구속 모형시험은 사항시험 뿐이다. 본 실험에 사용된 사항시험장치는 Fig. 6과 같다. 모형선의 사항시험 결과 측정된 동유체력을 무차원화 하여 Fig. 7~12에 나타낸다. Fig. 7~8은 HPR상태에서의 동유체력 시험 결과이고, Fig. 9~10은 HP 상태의 시험 결과이다. 구속 모형시험시 프로펠러 회전수는 실선의 자항점(ship propulsion point)에 맞추었다.

본 연구에서의 구속 모형시험은 소형 회류수조에서 실시되었으며, 회두각속도 r 을 변수로 하거나, 회두각속도 r 과 횡방향 이동속도 v 를 동시에 변수로 하는 선체 동유체력의 측정이 불가능하였으므로 횡방향 이동속도 v 를 변수로 하는 동유체력 미계수만을 측정하였다.

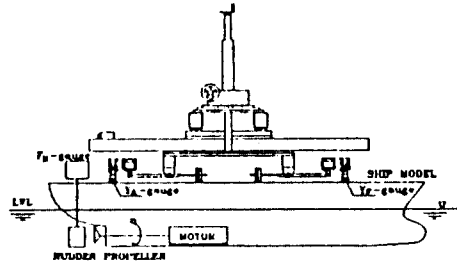


Fig. 6 Setup of oblique tow test apparatus

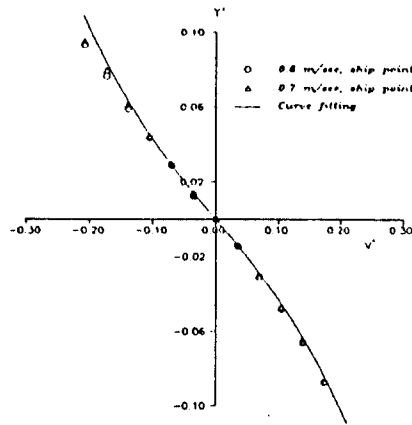


Fig. 7 Nondimensional lateral force(HPR)

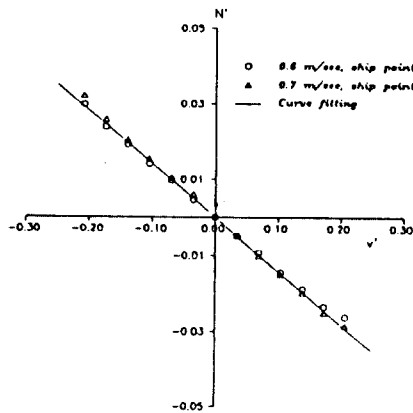


Fig. 8 Nondimensional yaw moment(HPR)

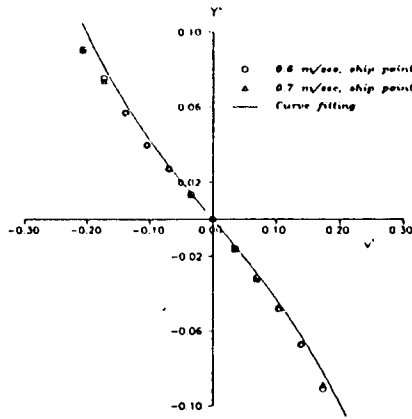


Fig. 9 Nondimensional lateral force(HP)

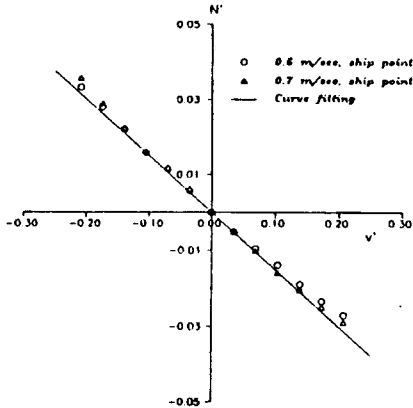


Fig. 10 Nondimensional yaw moment(HP)

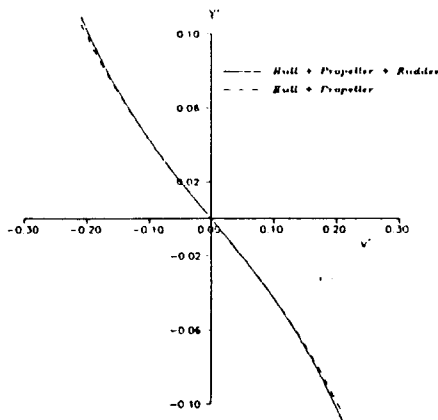


Fig. 11 Comparison of nondimensional lateral force

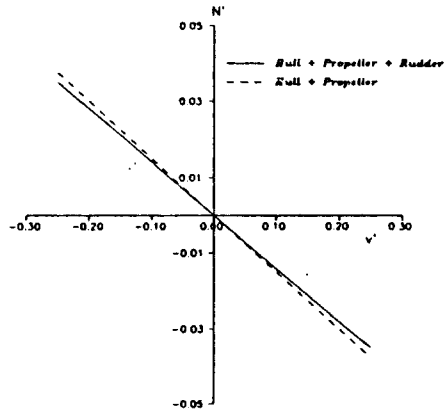


Fig. 12 Comparison of nondimensional yaw moment

(2) 타직압력과 관련된 실험정수

조종성 수학모델의 식(6)으로 표시되는, 타에의 유효유입속도 u_R 의 계산을 위해서는 직진시의 유효반류계수 w_{PO} 와 w_{RO} 의 값을 결정하여야 한다. w_{PO} 는 프로펠러 위치에서의 유효반류계수, w_{RO} 는 타 위치에서의 유효반류계수이다. 본 연구에서는 w_{PO} 는 문헌[5]에서의 측정 결과를 참고하여 $w_{PO} = 0.73$ 으로 추정하였다. 그리고 $(1-w_{RO})$ 의 값은 문헌[7]의 실험결과를 참고하여 $w_{RO} = 0.50$ 로 추정하였다.

한편, 타에 유입하는 유체 흐름의 프로펠러에 의한 증속율 k_x 는 문헌[7]의 실험결과를 인용하여 $k_x = 0.54$ 정도의 값을 취한다.

또, 타와 선체의 상호간섭 유체력에 관한 실험정수는 문헌[7]의 실험결과를 사용하여 $a_H = 0.214$, $x_H = -0.33$ 으로 추정하였다.

3.3 미계수에 미치는 타의 영향

타가 설치되지 아니한 상태와 타가 설치된 상태의 선형 유체력 미계수의 측정 결과 사이에는 다음과 같은 관계가 있다[7].

$$[Y'_\beta]_{HPR} = [Y'_\beta]_{HP} + \left(\frac{A_R}{Ld}\right) \left(\frac{V_R}{V}\right)^2 \times f_a(1+a_H)\gamma$$

$$[N'_{\beta}]_{HPR} = [N'_{\beta}]_{HP} + \left(\frac{A_R}{Ld}\right) \left(\frac{V_R}{V}\right)^2 \times f_{\alpha}(\alpha_R' + \alpha_H \alpha_H') \gamma \quad (9)$$

여기서 첨자 *HP*는 타가 설치되지 아니한 상태 (hull+propeller), *HPR*은 은 타가 설치되어 있는 상태 (hull+propeller+rudder)를 의미한다.

한편, *HPR* 상태와 *HP* 상태의 유체력 미계수의 차이를 식(10)과 같이 정의하고 양자의 실험값의 차이와 이론값의 차이를 Fig. 13에 나타내었다.

$$\begin{aligned} [Y'_{\beta}]_{HPR} - [Y'_{\beta}]_{HP} &= \Delta Y'_{\beta} \\ [N'_{\beta}]_{HPR} - [N'_{\beta}]_{HP} &= \Delta N'_{\beta} \end{aligned} \quad (10)$$

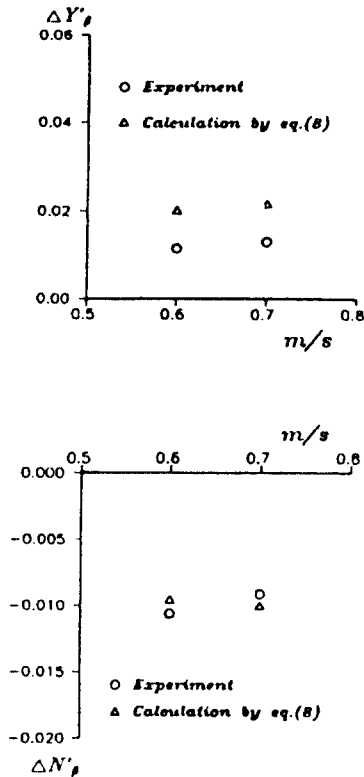


Fig. 13 Comparison of hydrodynamic derivatives

4. 결 론

278,000 DWT 탱커 Esso Osaka의 2m 모형선으로, 회류수조에서 사항시험을 실시하고 이들 실험 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) *HPR* 상태에서의 유체력 측정 결과와 *HP* 상태에서의 유체력 측정 결과로부터, 유체력 미계수에 있어서 타의 영향은 횡류각 β 가 작은 범위에서는 그 차이를 알기는 어려웠지만, 비교적 큰 횡류각 범위에서는 그 영향을 잘 볼 수 있었다. 미소한 횡류각 범위에서 유체력 미계수의 차이가 잘 나타나지 않는 이유는 선미부 검력계에 계측되는 유체력이 미소한 횡류각에서는 작고, 불안정하기 때문이라 사료된다.
- (2) 선속을 변화시켜서 동유체력을 측정된 결과, 0.7m/s일 때, 동유체력 변화의 폭이 0.6m/s일 때 보다 컸으나 변화하는 경향은 거의 일치하였다.
- (3) (9)식을 이용한 이론식과 *HPR* 및 *HP* 상태와의 실험치를 비교해보면 두 값은 비교적 잘 일치하고 있으며, 이러한 결과를 토대로 이론적인 추정식으로서 *HPR* 상태에서의 동유체력을 구할 수 있을 것으로 사료된다.

이상과 같이 타의 유무에 의한 동유체력 미계수의 변화와 이론식의 타당성을 비교, 검토하였다. 본 연구에서 얻은 결론을 토대로 광범위한 계열시험을 통한 확인 및 예인수조 결과와의 비교, 간섭계수의 정확한 추정 등이 앞으로의 과제라 사료된다.

참 고 문 헌

- 1) IMO, "Interim Standards for Ship Manoeuvrability", Resolution A.751 (18), adopted on 4 November 1993.
- 2) IMO, "Provision and Display of Manoeuvring Information on Board Ships", Resolution A.601 (15), adopted on 19 November 1987, 1988.

- 3) Yumuro, A., “操縱微係數に及ぼすプロペラ, 舵の影響について”, 日本造船學會 論文集 第141號 pp. 28~38, 1977.
- 4) Crane, C. L., “Manoeuvring Trials of 278,000 DWT Tanker in Shallow and Deep Waters”, Transactions SNAME, USA, Vol.87, pp. 251~283, 1979.
- 5) Kijima, K., et al., “深水域における操縱性能の推定”, 日本造船學會誌 第668號(船の操縱性能の推定特集號), pp. 27~45, 1985.
- 6) Ogawa, A., et al., “MMG報告 V, 操縱運動數學 Modelの實驗的檢證と改良”, 日本造船學會誌 第616號, pp. 27~38, 1980.
- 7) 손경호, 이 경우, “선미벌브를 갖는 선박의 조종특성에 관한 연구”, 대한조선학회 춘계 연구 발표 논문집 제616호, pp. 127~132, 1994.