
 論 文

大韓造船學會論文集
 第 31 卷 第 4 號 1994年 11月
 Transactions of the Society of
 Naval Architecture of Korea
 Vol. 31, No. 4, November 1994

斜航狀態에서 프로펠러와 舵의 特性에 관한 실험적연구

이승건*, 김현수*, 김수정**, 송명재***, 김상현**

An Experimental Study on the Characteristics of Propeller and Rudder in Oblique Towing Conditions

by

S.K.Lee*, H.S.Kim*, S.J.Kim**, M.J.Song*** and S.H.Kim**

요 약

선박의 조종성능을 정확히 평가하기 위해서 지난 약 10년간 각종모형시험이 수행되었다. 그러나 수학모델에 나타나는 변수들은 너무 다양하고, 복잡한 특성을 나타내기 때문에 아직까지 설계 분야에 직접 사용할 수 있는 유용한 형태가 구축되지 않았다.

본 연구에서는, 이 수학모델에서 가장 중요한 변수인 프로펠러에서의 유효반류계수 $(1-w_p)$ 와 유효타각 $\delta_R(\beta_R)$ 을 회류수조에서 조사하였다. 모델은 설계속도와 저속에서 각각 실험이 이루어졌고, 흡수 또한 만재상태와 밸러스트상태에서 실시되었다. 프로펠러 추력과 타적압력은 주어진 사항각과 프로펠러 회전수에서 측정되었다. 이 추력은 유효유입속도나 유입방향의 해석에 사용된다.

Abstract

For the reliable prediction of maneuverability of a ship, lots of captive model tests have been carried out for over 10 years. But the parameters appearing in the mathematical model are so versatile and showing complex characteristics, and it is still hard to establish the useful formulae that we can adopt directly in the design stage.

In this paper, the most important parameters in the mathematical model, i.e. $(1-w_p)$ the effective wake fraction at propeller, and $\delta_R(\beta_R)$, the effective rudder inflow angles are investigated by the captive model tests at the circulating water channel.

The model is tested at designed speed and at low speed, and the drafts at both full

발 표 : 1994년도 대한조선학회 춘계연구발표회('94. 4. 22.)

접수일자 : 1994년 5월 25일, 재접수일자 : 1994년 8월 3일

* 정회원, 부산대학교 조선해양공학과

** 학생회원, 부산대학교 대학원 조선해양공학과

*** 부산대학교 대학원 조선해양공학과

load and ballast load conditions are taken. Propeller thrusts and rudder normal forces are measured at the given drift angle and propeller revolution. These forces are used for the analysis of the effective flow velocity or flow direction, to the propeller or rudder.

1. 서론

국제 해사기구(IMO)의 操縱性 Resolution의 시행을 앞두고 있는 요즘, 조선현장이나 연구소 학계에서는 이에 대응한 준비가 다각도로 진행되고 있다. 특히, 初期設計단계부터 선박의 조종성능을 評價하여, 조종성 기준에 부합하는 선박을 건조하려는 노력이 多方面으로 이루어 지고 있다.

주지의 사실처럼, 조종성능 평가 및 조종운동의 엄밀한 계산은 아직도 모형실험에 의존하는 부분이 대부분이고, 따라서 '수학 모델' 기법이 어느정도 정착되어 있다고 할 수 있다 [1][2][3].

본 논문은, 조종성능 해석을 위한 엄밀한 조종운동계산을 하는데 있어 핵심적 부분인 船體와 프로펠러와 舵의 상호 간섭효과를 실험적으로 연구하여, 현장에서 설계시 참고자료로 삼는데 필요한 Data를 제공하려고 한다 [4].

선체와 프로펠러의 상호간섭은 船體伴流를 통한 프로펠러면에서의 유효반류계수 $(1-w_p)$ 와, 프로펠러 作動으로 유발되는 推力減少(Thrust Deduction)로 집약될 수 있다 [5].

한편 舵는 Propeller Race 의 영향과 선체伴流 영향을 동시에 받아, 舵에 流入하는 흐름의 속도, 方向 등이 변화하고, 이를 표현하는 변수로는 유효타각 δ_R 및 정류계수 γ (Flow Straightening Coefficient) 와 선체에의 간섭계수 a_H, x_H 를 들 수 있다 [6].

본 논문에서는, 이들 중에서도 특히 중요한 $(1-w_p)$ 와 δ_R 에 관하여, 회류수조에서의 모형시험으로 이 두 변수의 유속영향, 홀수영향, 조종운동영향을 조사하였다. 모형은 斜航상태로 自航하고, Propeller 推力과 舵直壓力이 측정되었다. 물론 조종운동은 斜航 뿐만 아니라 旋回도 동시에 發生하나 실험설비 (예를 들어 CMT 나 RA)의 부족으로, 斜航상태만을 가정하였다 [7].

2. 모형선

회류수조에서의 斜航試驗을 위해 $L_{pp} = 2.0m$

인 유조선모형 (축척비 $\lambda = 1/132$)을 제작하였다.

Table 1에 實船과 模型의 주요제원을 표시하였다.

Table 1 Principle particulars of ship & model

	Ship	Model
LOA	274.0m	2.076m
LBP	264.0m	2.0m
B	47.8m	0.356m
d	14.6m	0.111m
Ballast Draft	$d_f : 6.011m$ $d_a : 8.985m$	$d_f : 0.046m$ $d_a : 0.068m$
Service Speed	7.356 m/s	0.64 m/s
MCR	1.467 rps	16.85 rps
Low Speed	3.678 m/s	0.32 m/s
Weight	148.500 Ton	65.07 kg

프로펠러는 $D_p = 0.065m$, Pitch비 = 0.7이며 날개수 4의 것을 사용하였다. 舵는 H (舵高) = 0.086m A_R (타면적) = 0.0043m²인 장방형舵이다.

3. 프로펠러 유효반류계수의 추정

推力一致法(Thrust Identity Method)을 이용하여, 斜航中の 프로펠러面 전체에 걸친 平均의 流速을 알아보기 위하여 프로펠러 流效伴流 $(1-w_p)$ 를 측정하였다. 실험은 三星중공업 중앙연구소內의 회류수조에서 行하였고, 대략적인 측정장비의 配置는 Fig.1과 같다.

推力一致法을 사용하기위해, 먼저 단독상태에서 프로펠러의 단독시험을 행하였다.

이때 프로펠러 沒水深度는 2.0 D_p 로 하였고, 전

진계수 $J (= u_p / (n \cdot D_p))$ 를 0에서 0.7까지 0.1씩 변화시키며, 그때의 프로펠러추력을 Thrust Meter로 측정하였다.

이결과를 Table 2 에 나타낸다.

Table 2 Result of propeller open water test

J	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
n	20	25	25	25	25	25	20	0
U _p	0	0.163	0.325	0.488	0.65	0.813	0.78	0.91
K _T	0.277	0.261	0.228	0.19	0.153	0.114	0.069	0.022

본실험에서의 프로펠러면에서의 임계 Reynolds수는 9×10^4 정도로 층류에 의한 척도영향을 피할 수 없으나 본 논문은 실선과의 직접적인 정량적 비교를 고려하지 않으므로 그대로 실험을 계속한다.

이렇게 해서 얻어진 관계를 J에 관한 2차 다항식으로 표현한 결과가 Fig.2이다

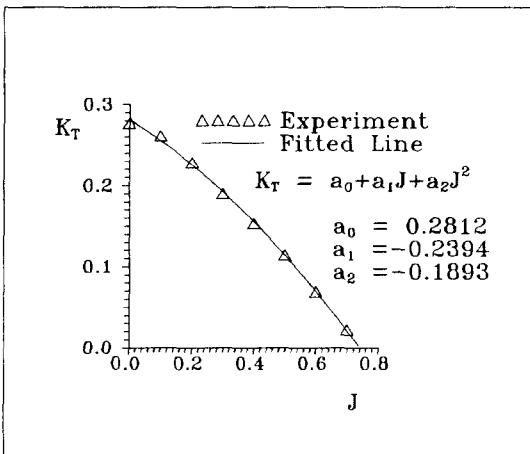


Fig.2 Propeller open water characteristic

이제 斜航中の 프로펠러 유효반류계수 추정에 앞서, 먼저 MMG수학모델에 의한 推力的 표현을 간단히 살펴보면 식 (3.1) - (3.7)과 같다.

$$X_p = (1 - b)T \tag{3.1}$$

$$T = \rho n^2 D_p^4 \cdot K_T(J) \tag{3.2}$$

$$K_T(J) = a_0 + a_1J + a_2J^2 \tag{3.3}$$

$$J = \frac{u_p}{(n D_p)} \tag{3.4}$$

$$u_p = (1 - w_p) u \tag{3.5}$$

$$(1 - w_p) = (1 - w_{p0}) + \tau(v_p + C_p v_p | v_p|)^2 \tag{3.6}$$

$$v_p = -\sin\beta + x_p \cdot r \tag{3.7}$$

式(3.6)에서 $(1 - w_{p0})$ 는 직진時의 프로펠러 유효반류계수이고, 두번째 項은 조종운동에 의한 영향을 나타낸다. 여기서 τ, C_p 등은 실험적으로 정해지는 계수들이다.

서론에서도 언급했듯이 이번 시험에서는 모형에 旋回운동을 시킬 수 없으므로 $r=0$ 으로 한 상태에서 즉 斜航상태에서 사향각 β 를 $-30^\circ \sim +30^\circ$ 까지 변화시키며 Propeller 推력을 計測하였다.

실험 조건은 다음과 같다.

속도 : 0.64 m/s , 0.32 m/s

흘수 : Full Load , Ballast

사향각 : $0 \sim \pm 30^\circ$ ($\Delta\beta = 5^\circ$)

프로펠러 회전수 : 20.0 rps

이러한 조건하에서 얻어진 $(1 - w_p)$ 對 v_p 를 그림으로 나타낸 것이 Fig.3 ~ Fig.6이다.

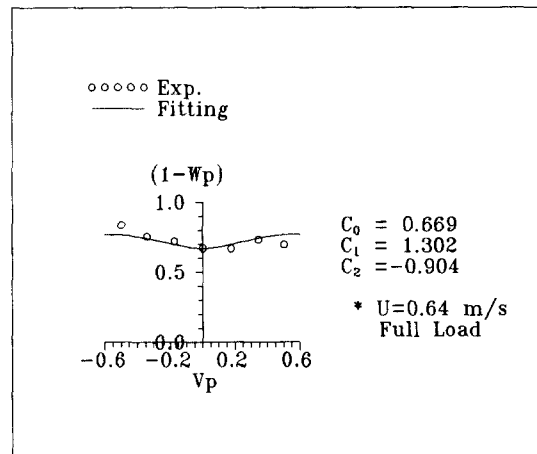


Fig.3 Propeller effective wake during oblique towing

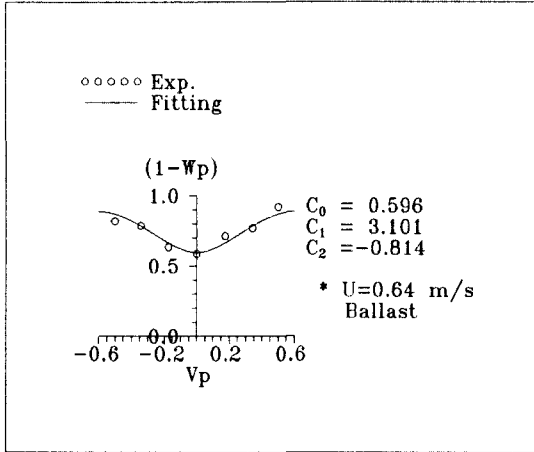


Fig.4 Propeller effective wake during oblique towing

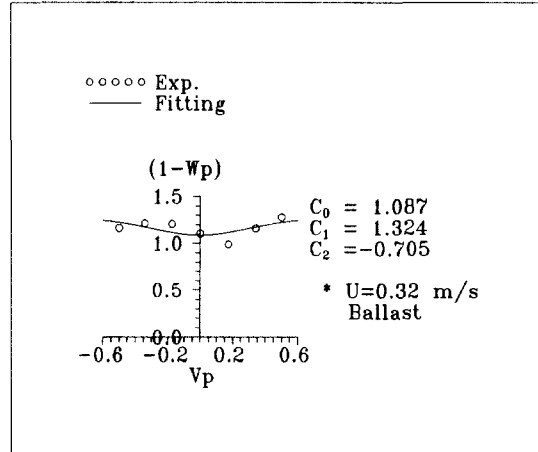


Fig.6 Propeller effective wake during oblique towing

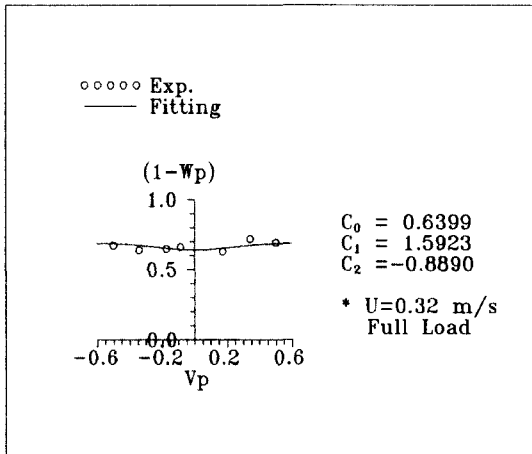


Fig.5 Propeller effective wake during oblique towing

여기서 $v_p = -\sin\beta + x_p \cdot r$ 로 프로펠러 위치에서 기하학적 횡유입속도를 나타낸다. 그림에서 C_0, C_1, C_2 는

$$C_0 = (1 - w_{p0}) \quad (3.8)$$

$$C_1 = \tau \quad (3.9)$$

$$C_2 = c_p \quad (3.10)$$

를 의미한다. Fitting 은 非線形 최소자승법을 사용하였다.

이 그림들에서 알 수 있듯이 $(1 - w_p)$ 는 직진시 최소값을 갖고, 斜航角이 커지면 증가하는 경향을 보인다. 또한 중고속보다 저속時 $(1 - w_p)$ 의 값이 전반적으로 작아짐을 알 수 있다.

또한 만재상태보다 밸러스트상태인 경우 $(1 - w_p)$ 가 사향각 영향을 많이 받음을 알 수 있다. 끝으로 Fig.6에서 보듯이, 저속時 경하상태의 $(1 - w_p)$ 가 1.0을 넘어서고 있으나 이는 이상상태에서 프로펠러와 회전에 따른 공기유입이 심해, 통상적 의미의 推力一致法을 적용하기 힘든 상태라고 생각된다.

4. 舵直壓力 計測 및 有效流場 해석

조종운동에 있어 舵力은 그 크기는 작지만 조종운동을 유발시키므로, 船尾상태에서 조종운동中の 舵力을 정확하게 예측하는 것은 매우 중요하다.

舵는 船體의 伴流域에 놓여있고 프로펠러 후류에서 作動하므로 매우 복잡한 流場속에 놓이게된다. 따라서 舵力을 理論的으로 解析하는데는 한계가 있고, 현실적으로는 數學모델에 의한 平均的, 近似的處理가 일반적 方法이다. 먼저 MMG수학모델에 의한 舵力을 써보면 다음과 같다.

$$X_R = -(1 - t_R) F_N \sin \delta \quad (4.1)$$

$$Y_R = -(1 + a_H) F_N \cos \delta \quad (4.2)$$

$$N_R = -(x_R + a_H \cdot x_H) F_N \cos \delta \quad (4.3)$$

$$F_N = \frac{1}{2} \rho A_R \cdot U_R^2 \cdot F_a(\lambda) \cdot \sin \alpha_R \quad (4.4)$$

$$U_R^2 = u_R^2 + v_R^2 \quad (4.5)$$

$$u_R = \epsilon u_p \sqrt{\eta \left(1 + \frac{k_x}{\epsilon} \left(\sqrt{1 + \frac{8k_T}{\pi f^2}} - 1 \right) \right)^2 + (1 - \eta)} \quad (4.6)$$

$$v_R = u_R \tan \delta_R \quad (4.7)$$

$$\alpha_R = \delta - \delta_R(\beta_R) \quad (4.8)$$

$$\beta_R = \beta - l_R' \cdot r' \quad (4.9)$$

$$l_R = x_R / L_{BP} \quad (4.10)$$

$$\epsilon = (1 - w_{R_1}) / (1 - w_{P_0}) \quad (4.11)$$

(1-t_R)은 타저항감소계수, x_R은 타위치의 x좌표, k_x는 프로펠러증속률, K_T는 프로펠러 추력계수이다. n는 프로펠러 직경과 타높이의 비이다.

또한 a_H, x_H는 操舵에 의해 船體에 유기되는 횡력 및 모멘트에 관한 간섭계수이고, α_R은 舵에의 유효유입角이다. 또 δ_R(β_R)은 舵直壓力 F_N이 0이 되는 舵角으로 유효타각(Effective Rudder Inflow Angle)이라 한다. f_a(λ)는 타직압력계수 구배이다.

MMG모델에 의하면 舵위치에서의 유효유입속도中 x방향성분 u_R은 u_p를 이용하여 표시되고, y방향성분 v_R은 δ_R(β_R)을 이용하여 표현가능하다.

u_p는 이미 前章에서, 전진속도 u와 프로펠러유효반류계수 (1-w_p)를 사용하여 표시되므로, 이제는 δ_R(β_R)을 구하도록 하자. δ_R(β_R)을 구하는 방법으로서 모형을 斜航狀態에 두고, 舵를 몇가지 舵角에 고정하여 舵直壓力을 측정한 후, 이들을 삼간하여 F_N=0이 되는 舵角 δ_R을 찾아내는 방법이 있다. 회류수조를 이용하여 Fig.1과 같이 Propeller 및 舵를 배치하고 舵力檢力計를 설치하여, 각종 사항상태에서의 舵力을 측정하였다.

이때의 시험 조건들은 다음과 같다.

- u ; 0.64 m/s , 0.32 m/s
- n ; 20.0 rps
- β ; 0°, ±5°, ±10°, ±15°, ±20°
- δ ; 0, +20°, -20°

대표적인 F_N 측정예를 Fig.7 ~ Fig.8 에 나타낸다.

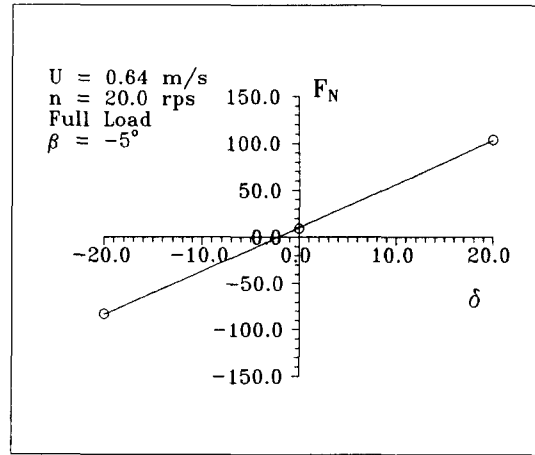


Fig.7 Measurements of rudder normal forces

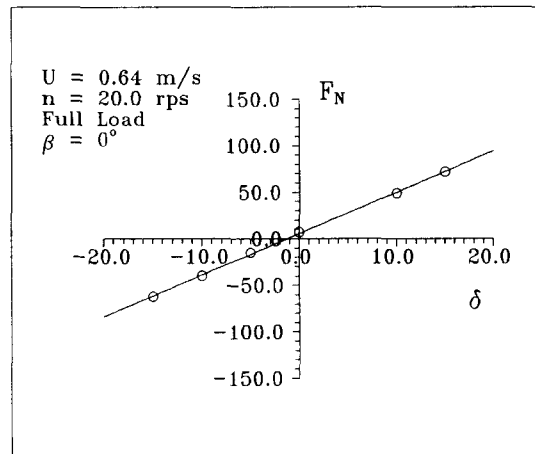


Fig.8 Measurements of rudder normal forces

이와같이 해서 얻어진 δ_R(β_R)을 그림으로 나타낸 것이 Fig.9 ~ Fig.12 이다.

Fig.9는 설계속도, 만재상태의 δ_R(β_R) 곡선으로, β_R이 5° ~ 20° 범위에서는 거의 직선적으로 변화하고 그 기울기가 0.6정도이다. 한편 β_R이 5° ~ -20° 사이에서는 비선형적으로 변화함을 볼 수 있다.

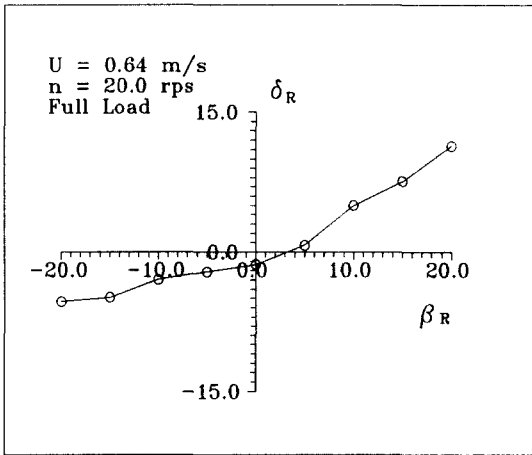


Fig.9 Effective rudder inflow angle δ_R

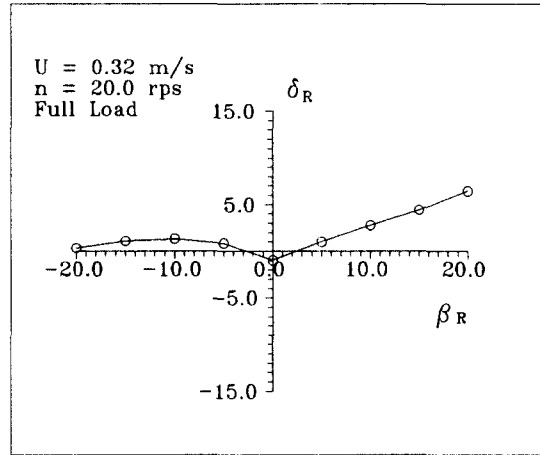


Fig.11 Effective rudder inflow angle δ_R

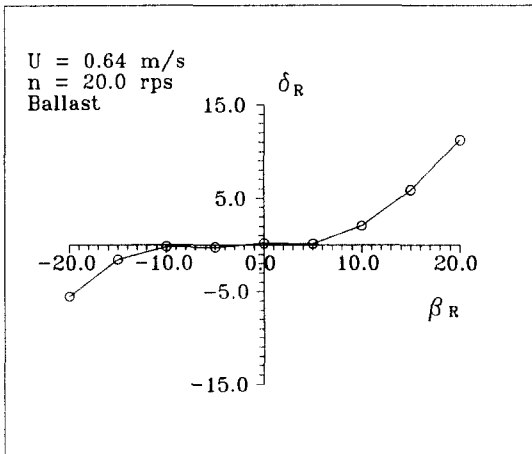


Fig.11 Effective rudder inflow angle δ_R

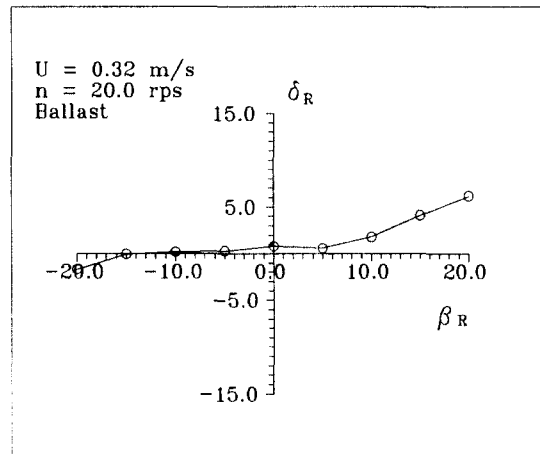


Fig.12 Effective rudder inflow angle δ_R

이러한 비선형 범위는 Fig.10 ~ Fig.12 에서도 공통으로 찾아볼 수 있으며 이는 선미 Bilge Vortex 와 프로펠러 후류가 서로 반대방향으로 회전하는 유속을 가지므로, 이들의 상호간섭결과 舵에의 유입유속이 현저히 감소하여 舵力이 증가하지 않는 현상이라고 밝혀져 있다.

본실험에서는 β_R 을 $\pm 20^\circ$ 까지 실시했으나, β_R

을 $\pm 30^\circ$ 정도까지 확대하면, 이 非線形의 모습이 더 분명하게 나타날 것이다.

Fig.10은 설계속도, 밸러스트상태에서의 $\delta_R(\beta_R)$ 로, $\beta_R = +5^\circ \sim -15^\circ$ 위에서는 非線形거동을 보이고, 그밖의 β_R 에서는 線形거동을 보이며 기울기는 대략 0.6정도이다.

이 기울기를 선체와 프로펠러에 의한, 舵에의 유

입흐름의 整流係數 (Flow Straightening Coefficient) γ 라하고, 舵위치에서 流入流의 有效流向을 나타내는 중요한 Parameter가 된다. 이 γ 를 이용하여 $\delta_R(\beta_R)$ 을 표현하면

$$\delta_R = \gamma \cdot \beta_R + (\text{Non-linear Part}) \quad (4.12)$$

Fig.11은 저속, 만재상태의 $\delta_R(\beta_R)$ 로 非線形 거동의 범위가 $\beta_R=5^\circ \sim -20^\circ$ 까지 넓어지고, 정류계수도 0.3 정도의 값을 가짐을 알 수 있다.

Fig.12는 저속, 밸러스트상태의 $\delta_R(\beta_R)$ 로 非線形범위가 $\beta_R=5^\circ \sim -15^\circ$ 이고, 정류계수는 0.3정도임을 알 수 있다.

이들을 종합하면 δ_R 은 船速에따라, 高速에서는 정류계수 0.6 정도, 低速에서는 0.3정도를 갖는다. 또한, 舵角의 변화에도 불구하고 舵力이 선형적으로 변화않는 非線形거동은 船速이나, 흘수상태에 따라 달라짐을 알았다.

5. 결 론

회류수조에서, $C_b=0.81$ 유조선 (DWT=148,500ton)의 2.0m 모형선을 사용, 프로펠러 유효반류계수 $(1-w_p)$ 와 舵의 유효타각 $\delta_R(\beta_R)$ 을 조사한결과 다음과 같은 사실을 알았다.

- (1) 프로펠러 유효반류계수 $(1-w_p)$ 는 직진시 최소값을 갖고, 斜航角이 커지면 증가한다.
- (2) $(1-w_p)$ 는 中高速時보다 低速時 그값이 전반적으로 감소한다.
- (3) $(1-w_p)$ 는 만재상태보다 밸러스트상태에서 斜航角의 영향을 더욱 받는다.
- (4) 有效舵角 $\delta_R(\beta_R)$ 의 기울기(정류계수)는

高速에서는 대략0.6, 低速에서는 0.3정도의 값을 갖는다

- (5) $\delta_R(\beta_R)$ 의 非線形 거동은 船速이나 흘수에 따라 매우 달라진다. 非線形性의 범위는 대략 $\beta_R = +5^\circ \sim -15^\circ$ 이다.

후 기

본 연구는 삼성중공업 및 한국학술진흥재단의 연구비 (1993년도 지방대 육성 중점과제)에 의하여 수행되었다.

참 고 문 헌

- [1] 松本憲洋,末光啓二,草川喜種 : 縦波運動中の船尾周りの流場特性, 關西造船協會誌,第201號 (1986)
- [2] 高井忠夫,佐伯敏朗 : 斜航狀態における船後プロペラ後流の流場計測結果,第69回JTTC 第2部會資料(1983)
- [3] 岡田正次郎 : 舵性能に及ぼす推進器後流の影響について(舵の流體力研究-その3),日本造船學會論文集, 第104號(1958)
- [4] 小瀬邦治,湯室彰規,芳村康男 : 操縦運動の數學モデルの具體化-船體・プロペラ・舵の相互干涉とその表現-第3回操縦性シンポジウム, 日本造船學會(1981)
- [5] 上田耕平,山崎陸介 : プロペラと舵との干涉について(續),西部造船會會報,第38號(1969)
- [6] 鳥野慶一 : 操舵が船體に誘起する横方向の力について, 關西造船協會誌, 第133號(1969)
- [7] 小瀬邦治,芳村康男,浜本剛實:操縦性能推定に用いる數學モデルと模型試驗,日本造船學會誌,第668 號(1985)