

## 통계적 해석에 의한 유조선의 조타기 토오크 계산 경험식 개발

손동익\*, 이기표\*\*

### A New Empirical Formula for Steering Gear Torque of Tankers by Statistical Analysis based on Sea Trial Data and Modified Lifting Line Theory

by

D.I.Son\* and K.P.Rhee\*\*

#### 요 약

본 논문에서는 혼타를 장착한 유조선의 조타기 토오크를 초기 설계 단계에서 추정할 수 있는 경험식을 통계분석 방법을 사용하여 개발하였다. 혼타의 타단독 상태에서의 유체역학적 특성은 Molland의 수정 양력선 이론에 따라 계산하였고, 선미 와류 내의 추진기와 선체의 영향은 실적선 자료의 회귀 분석을 통하여 추정하였다. 끝으로 본 방법에 의해 얻어진 조타기 토오크 추정경험식을 실적선에 적용한 후 그 결과를 비교하였으며, 매우 유의성이 높음을 확인하였다.

#### Abstract

In this paper, an empirical formula to estimate the steering gear torque of a Tanker with a horn type rudder was developed by using the statistical analysis. The hydrodynamic characteristics of the horn type rudder in the free-stream condition were calculated by using the modified lifting line theory by Molland, and the interaction effects by propeller and hull were analyzed by the regression analysis of the sea-trial data of 32 vessels. The comparison with the delivered vessels' data shows that the formula can be used for predicting the steering gear torque at the initial design stage.

---

접수일자 : 1999년 2월 12일, 재접수일자 : 1999년 10월 27일

\*정회원, 현대중공업(주) 기장설계부

\*\*정회원, 서울대학교 조선해양공학과

1. 서론

선박 초기 설계 단계에서 조타기 용량 추정은 실적선 자료를 기초로 이루어지고 있으며 그 실적선 자료는 합리적인 분석 과정을 거쳐 재정리 될 때 더욱 가치가 있다.

조타기의 용량을 추정하는 데 주로 사용되는 방법은 Jössel(1873년)의 르와르강 평판 실험 결과 [12]를 이용하여 타 유체력과 토오크를 계산한 후 실적선 경험치를 반영하는 방식[11]과 각 선급 규칙의 타 (Rudder) 구조 설계용 유체력과 토오크를 계산하는 식을 원용하는 방법이 있다.[13] 그러나 이 방법들은 선형 특성이나 추진기의 영향을 고려하기에는 충분하지 않다. 한편, Harrington(1981년)[4]은 시운전 계측과 실험 자료를 이용하여 Beaufoy-Jössel 결과에 경험인자를 적용하는 방법을 발표하였는데 이는 상세 설계와 모형 시험 결과를 필요로 한다.

전가동타의 경우 실험 결과에 근접하는 이론적인 기법들이 개발되어 있으나[2] 혼타의 경우 형상이 복잡하고 타주위 유동 해석의 어려움 때문에 발표된 연구 결과가 적으며, Molland(1981년)[1]의 연구에서 처음으로 현재 형태의 혼타를 사용한 체계적인 실험 및 분석 결과가 나타나 있다.

본 논문에서는 Molland의 수정 양력선 이론에 따라 free-stream에 놓여 있는 혼타에 작용하는 유체력과 토오크를 계산하고 선체와 추진기의 영향은 실적선 자료의 회귀 분석으로 해석한 후 조타기 용량 추정 경험식을 구하였다.

2. 타(Rudder) 유체력 및 토오크 계산

2.1 타에 작용하는 힘과 토오크

Fig.1에서와 같이 타의 유체역학적 특성을 나타내는 양력 계수, 항력 계수, 수직력 계수와 타 두재에 관한 토오크 계수의 정의는 아래와 같다.[4]

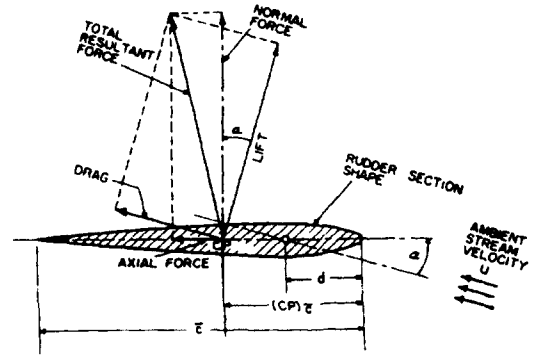


Fig.1 Definition of rudder forces and its geometry[4]

$$C_L = \frac{L}{\frac{1}{2} \rho A U^2} \tag{2.1}$$

$$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2} \rho A U^2} \tag{2.2}$$

$$C_N = \frac{F_N}{\frac{1}{2} \rho A U^2} = C_L \cos \alpha + C_D \sin \alpha \tag{2.3}$$

$$C_{MH} = \frac{Q_H}{\frac{1}{2} \rho A U^2 \bar{c}} = \frac{F_N [d - (CP)\bar{c}]}{\frac{1}{2} \rho A U^2 \bar{c}} \tag{2.4}$$

여기서, \$\rho\$는 유체 밀도이고, \$A\$는 타면적, \$\bar{c}\$는 타의 평균 코드, \$d\$는 타 전면에서 타두재 중심까지 거리이며, \$Q\_H\$는 타두재에 작용하는 토오크이다.

현재 주로 사용되고 있는 타는 전가동타와 혼타 (Horn type rudder)인데 전가동타는 소형선에 사용되며 많은 실험 결과와 이론 개발이 되어 있는 반면, 중·대형선에 사용되는 혼타는 실험 결과와 이론 해석 결과가 잘 알려져 있지 않다.

2.2 타 유체력 및 토오크 기존 계산식

타에 작용하는 힘과 모멘트를 구하기 위해 일반적으로 조선소에서는 아래의 Beaufoy-Jössel 계산식의 결과에 실적선 경험 인자를 반영하고 있다.[12]

$$F_N = 58.8AU_r^2 \sin \alpha \quad (2.5)$$

$$= 15.6AU^2 \sin \alpha$$

$$(CP)_{\bar{c}} = (0.195 + 0.305 \sin \alpha) \times c \quad (2.6)$$

$$Q_H = A c V_i^2 (4.36 - 11.8 \frac{d}{c}) 10^{-3} (\text{ton} - \text{m}) \quad (2.7)$$

여기서  $\alpha$ 는 영각,  $U_r$  (m/sec)과  $U$  (knots)는 유입 속력이고,  $V_i$  (knots)는 시운전 속력이다.

상기 계산식의 변수는 타면적, 유입 속력과 영각뿐이다. 일반적으로 날개 단면의 양력 계산 시에 고려되는 aspect ratio, taper ratio, sweepback angle 등을 반영하는 인자가 없으며, 혼부분 특성도 고려하지 않고 있다.

선급(IACS) 계산식은 타의 aspect ratio  $k_R$ , 타단면 형상 계수  $k_c$ , 추진기 후류 내의 타 위치 계수  $k_l$ 를 사용하여, 타에 작용하는 수직력, 작용점, 그리고 토크를 구한다.[13]

$$F_N = 0.312 k_R k_c k_l A V^2 \quad (2.8)$$

$$r = c(\alpha - k) \quad (2.9)$$

$$Q_R = F_N r \quad (2.10)$$

여기서,  $k$ 는 타면적의 발란스비이다.

앞의 두식 모두 선형과 추진기의 영향을 상세하게 반영할 인자가 없지만 아직까지도 조타기 토크 결정의 기본식으로 실무에 폭넓게 사용되고 있다.

### 3. 수정 양력선 이론에 의한 타(舵) 유체력 및 토크 계산

Molland는 풍동실험에서 나타난 혼타의 특징과 실험 자료의 형태에 적절한 이론적인 근거를 제공하고, 이 결과를 확장하여 실험 모델과 다른 혼 형태나 aspect ratio등 타의 주요제원 변경 효과를 반영할 수 있는 이론식을 개발하였다. Molland의 수정 양력선 이론은 타 가동부와 혼부분, tip부 유체력의 특성이 실선과 거의 일치하

며 타의 기하학적 변경 효과를 반영할 수 있을 뿐만 아니라 선박의 표류각도 타 토크 계산에 고려할 수 있다.

#### 3.1 양력선 분석(Molland)의 개요[1]

기본 양력선 이론은 타(舵)를 길이  $2^*S$ (span)의 한 개의 양력선으로 대치하고 타 root에서 span방향 각 단면 위치는 각(角)  $\theta$ 로 대치한다. 그러면 유효영각을 다음과 같이 얻는다.

$$\bar{\alpha}(\theta) = \alpha - f(\theta) \cdot \gamma(\delta, \alpha) \quad (3.1)$$

여기서  $\gamma(\delta, \alpha)$ 는 혼부의 입사각 감소이며 박리가 고려된 실험 자료에서 구한다.

$$\sum_n [A_n \sin n\theta \cdot (\mu n + \frac{\sin \theta}{1 - k \cos \theta})] \quad (3.2)$$

$$= \mu \bar{\alpha} \sin \theta, \quad \mu = \frac{m C_R}{8S}$$

이 기본식은 타의 모든 점 ( $0 \leq \theta \leq \pi/2$ )에서 만족되어야 하므로 이 식으로부터  $A_n$ 을 구하여 양력과 항력에 관한 다음 식을 얻는다.

$$L = \rho V \Gamma = \rho V [4SV \sum A_n \sin n\theta] \quad (3.3)$$

$$= 4\rho S V^2 [\sum A_n \sin n\theta]$$

$$C_L = m (\bar{\alpha} - \omega / V) \quad (3.4)$$

$$\omega = \frac{V \sum n A_n \sin n\theta}{\sin \theta} \quad (3.5)$$

$$C_{Di} = C_L \cdot \frac{w}{V} \quad (3.6)$$

혼타의 특성을 반영하기 위해 기본 양력선 이론을 수정 및 추가할 필요가 있다. 양력 곡선 기울기는 두께와 점성 효과가 반영된 실험 결과 (NACA0020 :  $m = 5.5$ )를 이용한다.[3]

$$C_D = C_{DP} + C_{Di} \quad (3.7)$$

$$C_{DP} = 0.017 + 0.12 C_L^5 \quad (3.8)$$

여기서,  $C_{DP}$ 는 rudder profile drag이고  $C_{Di}$ 는 유기 항력이다.[1]

Molland의 연구 결과에 따른 양력계수, 항력 계수 등을 Fig.2에 인용하였으며 기존 실험 결과들과 유사한 경향을 보임을 알 수 있다.

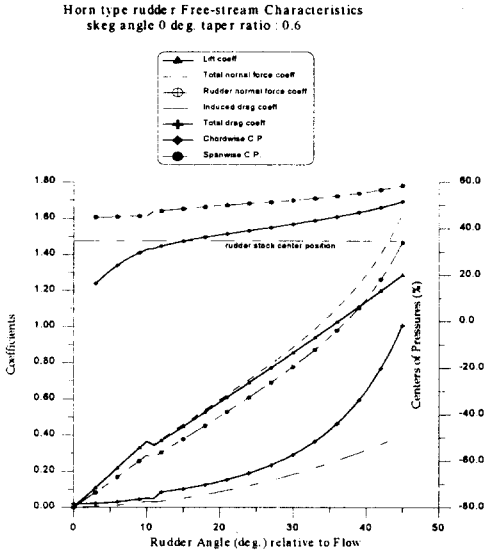


Fig.2 Rudder coefficients using molland's modified lifting line theory[1]

3.2 타 힘 및 토오크 계산[1]

Molland 수정 양력선 이론에 따라 span 방향으로 하중 분포를 수치 적분하여 혼타 가동부의 수직력과 코드 방향 수직력의 작용점을 구한다.

$$C_N = C_L \cos \alpha + C_D \sin \alpha \quad (3.9)$$

$$F_N = C_N \frac{1}{2} \rho A V^2 \quad (3.10)$$

$$\bar{X} = [C_{P_c} \times \bar{c}] - d \quad (3.11)$$

$$C_{P_c} = 11.7 + 0.18 \alpha^{1.4} + 0.7 (AR - 3) \quad (3.12)$$

$$Q_M = F_N \times \bar{X} \quad (3.13)$$

여기서,  $C_{P_c}$ 는 코드 방향 압력 중심,  $AR$

은 타 aspect ratio이고  $Q_M$ 은 Molland의 수정 양력선에 따라 계산한 타 토오크이다.

Molland의 식을 사용하여 타각 변화에 따른 타 수직력, 그 작용점과 토오크 변화를 Fig.3에 나타내었다.

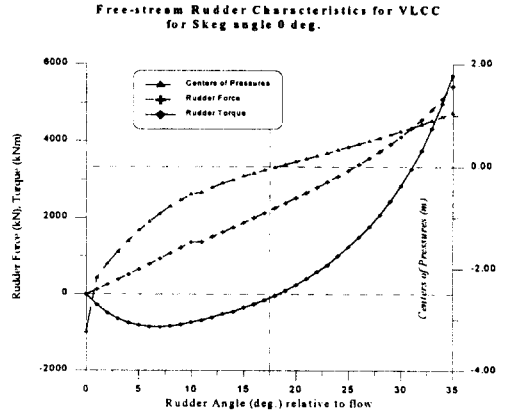


Fig.3 Application of molland's formulas for VLCC

4. 수정 양력선 이론의 타 토오크를 기초로 한 조타기 토오크 경험식 개발

4.1 회귀 분석의 기본 가정

조타기 토오크는 크게 타에 작용하는 유체력에 의한 토오크와 타지지 베어링부의 마찰에 의한 손실토오크로 구성된다. 조타기 효율은 조타기의 정격 토오크를 정할 때 이미 반영되므로 고려 대상에서 제외하며, 각 bearing의 마찰 손실 토오크는 거의 동일한 bearing 재질을 사용하므로 본 분석에서 제외한다. 타 및 타지지 구조는 Unified IACS 규칙을 만족하는 동일한 기준으로 설계되기 때문에 별도 요인으로 분석하지 않았다. 따라서 기계적인 손실 토오크는 제외하고 혼타에 유입되는 유체의 속도와 영각 분포에 영향을 미치는 요인중 초기 설계 단계에서 이용 가능한 자료에 그 비중을 두었다.

4.2 회귀분석시 사용한 인자

회귀분석시 검토한 인자는 아래와 같으며, 유의

성이 있는 것으로 판단되어 최종 분석에 사용된 인자는 밑줄로 나타낸 것이다.

1. 타 wake 분포도
2. Reynolds number(타의 평균 코드 기준)
3. 타 단면 최대 두께
4. 타 aspect ratio
5. 추진기 추력
6. 진진 속력
7. 추진기 직경과 타전체 평균 높이 비율
8. 추진기 보스 중심에서 타전면까지 거리와 추진기 직경 비율
9. 타 root끝단에서 선체와 타의 간격
10. 타앞부분의 선체 단면 형상
11. 추진기 슬립비
12. 시운전(zigzag test)시 first overshoot angle
13. 추진기후류내에서의 유속 변화
14. 타root부 skeg유무
15. 선회시 타 영각 변화량
16.  $C_B$
17.  $LBP / B_m$
18.  $2 \cdot TL / LBP$
19. 타와 추진기, 선체와의 위치에 따른 wake 로 인한 유속 차별화
20. 타두재와 추진기축 위치에 따른 타면적 비율
21. 타전면 sweep angle
22. 시운전 상태
23. 타 taper ratio
24. 시운전시 타의 물수 비율
25. 추진기 직경과 선폭의 차이 비율
26. Froude number
27. 혼부 단면 계수 비율
28. 타 단면 계수 비율
29. 타 bearing 마찰계수
30. 혼부와 타전면부 overlap비율

4.3 회귀 함수 모형과 주요 과정

Molland 수정 양력선 이론에 따라 계산한 타

토오크와 실적선 시운전 결과를 비교·분석하기 위하여 만재 흡수에서 시운전한 tanker 32척의 자료(Table 1)(14)를 이용하였다.

조타기 시운전 토오크를 반응 변수로 하고 차원을 가진 인자를 설명 변수들로 하여, 선형 중회귀 모형 및 2차 회귀 모형을 사용한 결과 변수의 유의성과 공분산성에 문제가 있어 타의 유입 속도와 유입각에 주로 영향을 미치는 변수들을 타와 추진기의 주요 자료로 무차원화하여 회귀 분석하였다.

시운전 결과를 수정 양력선 이론에 따라 계산한 토오크로 무차원화한 값을 반응 변수(Km)로 하고, 회귀 분석으로 유의성이 있는 무차원 인자 9개를 설명 변수로 하는 선형 중회귀 모형으로 최소 제곱 적합 모형을 개발하였다. 이 모형으로 중회귀 분석의 기본 가정들이 만족되는지 모형 진단을 한 결과 이분산성의 경향을 약간 나타내었다. 이 문제점을 가중 최소 제곱 방법으로 개선하였다. (Table 2).[8]

$$Y = b_0 + \sum_{j=1}^m b_j w_k X_j \tag{4.1}$$

4.4 회귀 분석 결과에 따른 경험식 도출

분석 결과 유의성이 있고 회귀 진단에 적합한 여러 회귀모형중 가장 적합하다고 판단되는 회귀 계수를 채택한 조타기 토오크 경험식은 다음과 같다.

$$Q_p = Q_M \times K_{mf} \tag{4.2}$$

$$K_{mf} = 9.857696 - 0.235137 \times \frac{LBP}{B_m} - 2.923753 \times \frac{(B_m - D_p)}{B_m} + 0.757224 \times \frac{C_B}{R_{zm}} - 6.616184 \times C_B - 0.587146 \times \frac{D_p}{R_{zm}} + 0.563221 \times \frac{d_{AP}}{R_{zm}} - 1.348684 \times \frac{D_{mp}}{D_p} \tag{4.3}$$

여기서,  $Q_p$ 는 조타기 예측 토오크이고,  $Q_M$ 은 혼타 토오크이다. 수정 인자  $K_{mf}$ 을 구성하는 변수들은 수선간 길이  $LBP$ , 형폭  $B_m$ , 추진

Table 1 Particulars of delivered vessels

shipNo	LBP	B	D	draft	ship speed	propeller diameter	rudder area	rudder breadth	rudder height
T01	310	56	29.5	19.8	14.8	9.6	130.35	8.99	14.5
T02	305	58	28.8	18.5	15	9.6	135.61	8.888	15.257
T03	310	56	29.5	19.8	14.5	9.6	130.35	8.99	14.5
T04	310	56	29.5	19.8	14.719	9.6	130.35	8.99	14.5
T05	310	56	31.4	20.7	16	9.5	130.35	8.99	14.5
T06	226	42.6	20.1	12.19	14.1	7.35	69.645	6.965	10
T07	234	42	19.5	13.6	15	7.9	75.23	7.449	10.1
T08	234	42	19.5	13.6	16.5	7.9	75.23	7.449	10.1
T09	218	42	21.1	13.6	16	7.5	75.88	7.367	10.3
T10	314	58	31	20.9	15.3	9.5	151.7	10.25	14.8
T11	317	59	31.5	20.972	15.2	10	151.448	9.525	15.9
T12	318	58	31.5	22.2	15.1	9.5	151.448	9.525	15.9
T13	314	58	31	22.2	15.5	9.5	150.536	9.65	15.6
T14	314	58	30.3	20.6	16.5	9.9	148	9.548	15.5
T15	238	45	23.35	16.54	15	8	82.553	6.35	13
T16	258	43.2	24.9	17.5	14	8.5	89.664	7.032	12.75
T17	275	45	25.9	17	15.8	8.1	81.129	6.65	12.2
T18	260	46	23.3	15.6	16.8	8.1	86.039	7.354	11.7
T19	234	42.67	19.8	12.19	14.98	7.9	65.828	6.55	10.05
T20	234	42.67	19.8	12.19	15	7.8	65.828	6.55	10.05
T21	234	42.67	21.5	14.2	15	7.4	77.002	6.96	11.064
T22	234	42.67	21.58	14.2	14	7.3	77.002	6.96	11.064
T23	234	42	23.2	14.8	16	7.9	73.025	6.35	11.5
T24	234	42	23.2	14.8	16	7.7	76.098	6.675	11.4
T25	175	31.95	18	10.67	15.7	7.3	40.498	4.5	9
T26	164	32.2	16.6	11.2	14	6.4	43.246	4.65	9.3
T27	177	27.43	17	11.5	14.7	5.7	41.362	4.7	8.8
T28	177	27.43	17	11.5	15	5.7	41.362	4.7	8.8
T29	177	27.43	17	11.5	16	5.7	41.362	4.7	8.8
T30	219	32.2	19.7	13.2	15	7	59.171	6.1	9.7
T31	170	30	14.4	9.08	15	5.6	34.594	4.675	7.4
T32	174	32.2	18.6	11	15	6.2	45.261	5.325	8.5

Table 2 Output of multiple regression analysis and diagnostics

Analysis of Variance									
Source	DF	Sum of squares	Mean Square	F value	Prob > F				
Model	7	0.00810	0.00116	44.807	0.0001				
Error	11	0.00028	0.00003						
C total	18	0.00839							
	Root MSE	0.00508		R-squares	<b>0.9661</b>				
	Dep Mean	0.77921		Adj R-sq	0.9446				
	C. V. (%)	0.65238							
Parameter Estimates									
Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t for Ho	Prob > F	V.I.F			
INTERCEP	1	9.857696	1.27666457	7.721	0.0001	0.00000000			
RLB	1	-0.235137	0.03994636	-5.886	0.0001	5.63569475			
RPDB	1	-2.923753	1.17943935	-2.479	0.0306	6.36030571			
RGAP	1	0.757224	0.19131524	3.958	0.0022	1.61971374			
CB	1	-6.616184	0.74177284	-8.919	0.0001	2.02061461			
RPD_RZ	1	-0.587146	0.20670796	-2.840	0.0161	3.12802626			
RI	1	0.563221	0.14476242	3.891	0.0025	1.65469188			
DRP_PD	1	-1.348684	0.17828108	-7.565	0.0001	2.36653991			
Covariance Diagnostics									
Independent Variables			Variance Proportion Ratio						
	Eigen Value	Condition Number	RLB	RPDB	RGAP	CB	RPD_RZ	RI	DRP_PD
1	2.21483	1.00000	0.0202	0.0265	0.0067	0.0227	0.0095	0.0186	0.0220
2	1.66762	1.15245	0.0021	0.0039	0.1283	0.0563	0.0211	0.0373	0.0481
3	1.57958	1.18413	0.0201	0.0001	0.0006	0.0219	0.0738	0.0930	0.0376
4	0.86926	1.59623	0.0195	0.0092	0.2021	0.1663	0.0036	0.1059	0.0558
5	0.38964	2.38418	0.0049	0.0188	0.4219	0.1770	0.0320	0.6093	0.1140
6	0.19798	3.34471	0.0255	0.0011	0.2397	0.4917	0.5274	0.1153	0.7090
7	0.08108	5.22653	0.9077	0.9403	0.0006	0.0640	0.3326	0.0206	0.0136
Durbin-Watson D : 2.595									
Data Numbers : 19									
Durbin-Watson Linear Self Correlation Coefficient : -0.334									
Data Diagnostics									
SHIP NO	Dependent(Km)	Value	STD Error	Lower,Upper95%	Studentized	Cook	Lever	Covariance	Differences
	Variables	in Fits	Predict	Prop.	Residual	Distance	Point	Ratio	in Fits
T02	0.7913	0.7741	0.022	0.6973 0.8509	1.180	0.412	0.7032	2.4474	1.8523
T04	0.8874	0.8667	0.015	0.7965 0.9369	0.869	0.037	0.2838	1.6941	0.5405
T07	0.8747	0.8984	0.017	0.8255 0.9712	-1.048	0.079	0.3653	1.4551	-0.7992
T08	0.9234	0.8984	0.017	0.8255 0.9712	1.110	0.089	0.3653	1.3055	0.8520
T09	0.9611	0.9631	0.015	0.8961 1.0301	-0.094	0.001	0.3299	3.1788	-0.0627
T10	0.8427	0.8353	0.015	0.7659 0.9046	0.325	0.006	0.3105	2.8784	0.2086
T12	0.8203	0.8562	0.016	0.7849 0.9274	-1.596	0.171	0.3494	0.4001	-1.2726
T14	0.7676	0.7635	0.014	0.6959 0.8311	0.173	0.001	0.2459	2.7814	0.0943
T16	0.6318	0.6584	0.024	0.5727 0.7442	-1.476	0.500	0.6473	1.0391	-2.1296
T17	0.6288	0.6198	0.021	0.5376 0.7019	0.390	0.015	0.4433	3.4449	0.3340
T18	0.7490	0.7207	0.011	0.6527 0.7886	1.074	0.027	0.1559	1.0470	0.4650
T19	0.8136	0.8380	0.018	0.7644 0.9115	-1.166	0.133	0.4388	1.3291	-1.0501
T22	0.6035	0.6281	0.022	0.5496 0.7065	-1.458	0.462	0.6349	1.0537	-2.0408
T24	0.7812	0.7696	0.010	0.7033 0.8359	0.440	0.004	0.1315	2.1411	0.1648
T28	0.7441	0.7081	0.021	0.6220 0.7942	1.443	0.190	0.4222	0.6915	1.3068
T29	0.6727	0.7116	0.021	0.6253 0.7979	-1.571	0.232	0.4295	0.4926	-1.4753
T30	0.4279	0.4168	0.025	0.3223 0.5112	0.476	0.033	0.5415	3.9580	0.4984
T31	0.7725	0.7841	0.022	0.7038 0.8643	-0.637	0.077	0.6018	3.9853	-0.7606
T32	0.8775	0.8602	0.021	0.7837 0.9367	0.996	0.186	0.6002	2.5191	1.2192

Table 3 Comparison between actual steering gear torque and predicted torque adopting the estimated parameters (unit:kNm)

shipNo	Molland pred_Q	actual Q	Beaufoy-J. pred_Q	B_J factor	Molland factor	actual_Q / B_J predQ	actual Q / Moll.pred_Q
T01	4734	3152	2931	1.32	0.96	1.08	0.67
T02	4072	4162	4267	1.61	0.77	0.98	1.02
T03	4401	2240	2813	1.32	0.93	0.80	0.51
T04	4233	4334	2898	1.32	0.87	1.50	1.02
T05	5137	2615	3910	1.50	0.89	0.67	0.51
T06	1577	957	1325	1.49	0.91	0.72	0.61
T07	1496	1457	1323	1.25	0.90	1.10	0.97
T08	1810	1861	1601	1.25	0.90	1.16	1.03
T09	1479	1476	1717	1.45	0.96	0.86	1.00
T10	4518	4558	3623	1.28	0.84	1.26	1.01
T11	4963	5998	4574	1.66	0.84	1.31	1.21
T12	4965	4756	3890	1.43	0.86	1.22	0.96
T13	4540	3873	4058	1.53	0.79	0.95	0.85
T14	5007	5034	4906	1.54	0.76	1.03	1.01
T15	2712	967	2798	2.00	0.90	0.35	0.36
T16	1654	1587	1778	1.30	0.66	0.89	0.96
T17	1918	1945	1973	1.56	0.62	0.99	1.01
T18	1911	1986	2181	1.50	0.72	0.91	1.04
T19	1740	1689	1868	1.53	0.84	0.90	0.97
T20	1723	1282	1903	1.56	0.83	0.67	0.74
T21	1670	1287	1711	1.47	0.63	0.75	0.77
T22	1442	1386	1490	1.47	0.63	0.93	0.96
T23	1451	1051	1948	1.89	0.77	0.54	0.72
T24	1667	1692	1860	1.72	0.77	0.91	1.02
T25	883	1070	1345	2.47	0.87	0.80	1.21
T26	838	577	1254	2.66	1.01	0.46	0.69
T27	639	850	758	1.65	0.70	1.12	1.33
T28	676	710	795	1.67	0.71	0.89	1.05
T29	773	731	904	1.67	0.71	0.81	0.95
T30	547	561	764	1.13	0.42	0.74	1.03
T31	444	438	483	1.57	0.78	0.91	0.99
T32	777	793	709	1.65	0.86	1.12	1.02



기 지름  $D_p$ , 시운전 홀수  $d_{AP}$ , 타와 선체의 간격을 나타내는  $G_{ap}$ , 타의 평균 높이  $R_{zm}$  등이다.

4.5 경험식 적용 및 고찰

상기 경험식을 실적선에 적용하여 Table 3의 결과를 얻었으며 회귀분석시 이상점으로 분류된 호선들은 아래와 같은 특징이 있다.

- (1) T15 : 추진기 바로 뒤에 vane wheel 설치됨.
- (2) T27 : 시운전 자료 이상.
- (3) T25 : 조종 성능이 극히 불량한 것으로 판정된 선박이며 Rotary Vane 조타기 설치됨.
- (4) T11 : 본 호선만 유일하게 Bronze pintle bearing 설치됨.
- (5) 각종 변수들의 자료가 선정 모형에 사용된 범위 내의 경우에는 신뢰성이 높은 예측치를 주었다.

5. 결론

타에 작용하는 유체력과 토크는 Molland의 수정 양력선 이론으로 계산하고 선체와 추진기의 영향은 실적선 자료로 회귀 분석 하여 경험식을 도출하였다. 실적선 자료를 예측 값과 비교해 본 결과, Fig.4 에서 나타낸 바와 같이, 선박의 주요 제원과 타의 특성에 상응하는 만족할 만한 관계를 얻었으며 실적선 자료의 문제점도 찾아 낼 수 있었다.

따라서 상기 분석에 사용된 자료 및 Molland의 실험 모형과 유사한 경우:

- (1) Horn type rudder : NACA 00XX section
- (2) 추진기 직경과 타 높이 비율 : 0.597 ~ 0.786
- (3) 추진기 보스 중심에서 타전면까지 거리와 추진기 직경의 비율 : 0.239 ~ 0.414
- (4) 선체와 타의 간격 : 0.075 ~ 0.22

(5)  $C_B$  : 0.788 ~ 0.842

(6)  $LBP/B_m$  : 5.19 ~ 6.8

(7) 시운전시 타의 몰수 비율 : 1.214 ~ 1.414

(8) 추진기 직경과 선평의 차이 비율 : 0.783 ~ 0.836

에는 상당한 신뢰성을 갖고 실무에 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

한편, 타에 작용하는 힘과 토크를 정확하게 계산하기 위해서는 복잡한 선미 난류와 추진기의 영향까지 수치적으로 고려하여야 하므로 앞으로 많은 연구와 실험을 필요로 한다.

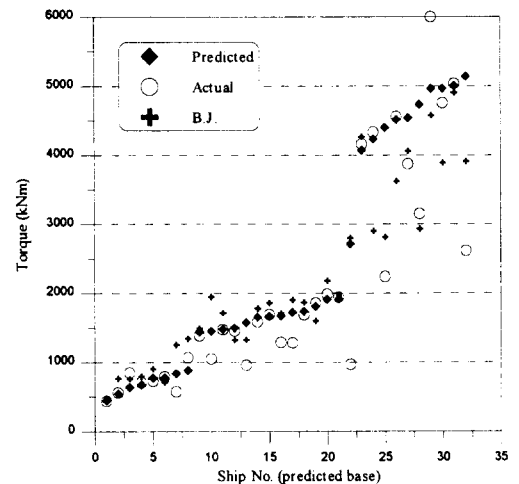


Fig.4 Plot of steering gear torques for regression model, present method and sea trial results

참 고 문 헌

- [1] A.F.Molland, "The Free-stream Characteristics of Ship-Skeg Rudders", Ph.D.Thesis, University of Southampton, 1981
- [2] Glauert H. "The Elements of Aerofoil and Airscrew Theory", Cambridge, 1948
- [3] Abbott and von Doenhoff, "Theory of

- Wing Sections", Dover, 1959
- [4] SNAME, "Principles of Naval Architecture vol.III", 1989
  - [5] J.Brix et al, "Manoeuvring Technical Manual", Seehafen Verlag, 1993
  - [6] C.B. Stribling, "Aerodynamics", Butterworths, 1984
  - [7] J.N.Newman, "Marine Hydrodynamics", MIT, 1986
  - [8] 송문섭 외, "통계 자료 분석", 자유아카데미, 1993
  - [9] 강명욱 외, "회귀 분석-모형개발과 진단", 울곡출판사, 1996
  - [10] N. R. Draper and H. Smith, "Applied Regression Analysis", John Wiley & Sons, Inc., 1981
  - [11] 기술 현대 7권 2호(72면-80면:STEERING GEAR), 1987
  - [12] 造船設計便覽, 第4版, 關西造船協會編, 海文堂
  - [13] IACS Requirements. 1990, v1.1, S10
  - [14] Sea Trial Data of Tankers Delivered.  
(unpublished)