論 文

大 韓 造 船 學 會 誌
第19卷 第4號 1982年 12月
Journal of the Society of Naval Architects of Korea
Vol. 19, No. 4, December 1982

6만 DWT 散積貨物船 模型船一實船 相關解析

梁 承 一*·李 昶 燮*·金 恩 燦*

Correlation Analysis of Model Tests with Ship Powering Data for a 60,000 DWT Bulk Carrier

by
Seung-Il Yang* · Chang-Sup Lee* · Eun-Chan Kim*

Abstract

The hydrodynamic effects on resistance and propulsive performance were studied by using the data from model test and full scale speed trials. A series of model tests on 3 geosims for a 60,000 DWT Bulk Carrier was conducted at KIMM's Ship Experimental Towing Tank and the results analyzed by 1978 ITTC Performance Prediction Method show the correlation between 3 geosim models. Also powering data of full scale speed trials were analyzed by the newly developed computer program and the correlation analysis between ship and model was studied.

1. 序 言

船舶基本設計 단계에서 신계선형의 推進성능을 精度높게 추정하기 위해서 曳引水槽에서의 模型試驗이 이용되고 있다. 이를 위하여는 模型試驗技法 및 結果解析方法, 實船試運轉技法 및 解析方法, 模型船一實船 尺度效果 및 相關解析, Sea Margin등에 관한 체계적 연구가 뒷받침되어야 한다. 본 연구에서는 6만톤급 散積貨物船에 대한 모형선一모형선의 관계와 모형선一실선의 관계를 통하여 模型試驗과 實船速力試運轉의 결과해석방법과 함께 모형선一실선 尺度效果에 대한 相關해석방법을 검토하여 보았다. 이 6만톤급 散積貨物船은 國內 造船所에서 개발한 선형으로 여러척의 실선 속력시운전 결과와 함께 독일의 HSVA수조에서의 모형시험 결과를 갖고있다. 여기에서 이용한 자료로서는 國內 造船所에서 이루어진 5척의 실선속력시운전 결과와 HSVA수조의 1/31 모형선시험 결과 그리고, 韓國機械研究所 大德船舶分所(SRS-KIMM) 水槽의 1/25, 1/50, 1/75 모형선의 실험결과를 사용하였으며, 선박의 주요 제원은 Table 1에 보인다.

2. 模型試驗

SRS-KIMM 水槽에서 실험을 수행한 3가지 모형선의 상태별 레이놀드數는 Table 2와 같다. 1/25모형(8,6m)은 모형선과 프로펠러에서 모두 현저한 척도효과(Scale Effect)를 피하고 모형주위의 흐름을 亂流로 만들어 주기에 충분한 레이놀드數를 얻을 수 있는 크기이고, 1/50 모형(4.3m)은 척도효과와 난류상태를 고려할 때 최소한의 레이놀드數를 얻게되는 크기이며, 1/75 모형(2,867m)은 中型水槽에서 위벽효과(Blockage Effect) 등을 고려하여 일반적으로 사용되고 있는 크기이다.

船型에 있어서는 모든 모형선과 실선이 모두 기하학적으로 동일하나, 프로펠러에 있어서는 실선에 3가지 프로펠러가 적용되었으나 그 가운데 60A船舶의 프로펠러에 대한 모형을 만들어 SRS-KIMM 수조에서 모형시험을 수행하였다. 한편 HSVA수조에서는 별개의 재

接受日字：1982年 6月 26日, 再接受日字：1982年 11月 30日
* 正會員, 韓國機械研究所 大德船舶分所

Table 1. Comparison of Principal Characteristics

Test	Model Test*				Full Scale Speed Trial				
Condition	Full Load		Ballast		Ballast				
Hull Form	KIMM	HSVA	KIMM	HSVA	60A	60B	60C	60D	60E
Lpp (m)	215.00								
B (m)	32.20								
d, FP(m)	11.805		4.682		4.680	4.695	4.685	4.746	4.846
AP(m)	13.103		7.307		7.300	7.407	7.335	7.085	7.133
Mean(m)	12.454		5.995		5.990	6.051	6.010	5.916	5.990
Displt. (m^3)	71050		32920		33011	33363	33126	32520	32914
Dia. (m)	5.840	6.006	5.840	6.006	5.840	6.000		6.000	
P/D, 0.7R (m)	0.6695	0.684	0.6695	0.684	0.6695	0.6933		0.7062	
A_E/A_O	0.590	0.680	0.590	0.680	0.590	—		—	
Z	5								

* Dimensions for model test are expanded into full scale values.

Table 2. Comparison of Reynolds Number for Model Scale and Full Scale

Scale / Reynolds No.	Full Scale (10^{-8})	Model Scale (10^{-6})		
	1/1	1/25	1/50	1/75
Ship Rn. at Resistance Test	7.8~19.4 (8.0~20.0knots)	6.9~17.3 (0.823~2.058m/s)	2.0~5.1 (0.582~1.455m/s)	1.1~2.8 (0.475~1.188m/s)
Ship Rn. at Propulsion Test	10.7~16.5 (11.0~17.0knots)	9.5~14.7 (1.132~1.749m/s)	2.8~4.3 (0.800~1.237m/s)	—
Propeller Rn. at Propeller Open-Water Test	19.4 (1.9 rps)	0.428 (15.0 rps)	0.243 (35.0 rps)	0.110 (35.0 rps)

고프로펠러(Stock Propeller)로 수행하였다.

SRS-KIMM 수조의 모형선은 마디카 목재로 제작되었고, 그 표면은 Urethane Varnish로 도장되었다. 모형선의 난류촉진장치로서는 선수 19.5 st.에 직경 3mm의 못(Cylindrical Studs)을 25mm의 등간격으로 높이가 2.5mm가 되도록 취부하였다. 모형프로펠러는 알루미늄으로 제작 되었는데, 난류촉진장치는 취부하지 않았다.

각종 모형시험은 Table 2와 같이 수행되었으며 1/75 모형프로펠러에 대한 단독시험도 수행하기는 하였으나 그 계측치들이 保有 動力計의 용량과 프로펠러 軸의 마찰에 비해 너무 작고, 데이눔드數가 너무 작은데 기인하는 오차 등으로 인하여 이에 대한 검토는 하지 않았으며 아울러 自航推進시험도 수행하지 않았다.

抵抗시험은 Yawing과 Swaying이 제한된 상태에서

Table 3. Calculation of Form Factor k

Method \ Condition / Model			KSO42	KSO43	KSO44
			1/25	1/50	1/75
'81 ITTC (with Min. Standard Deviation)	Full Load	n	8.00	8.00	8.00
		k	0.239	0.212	0.422
	Ballast	n	4.50	6.00	7.00
		k	0.347	0.394	0.316
Prohaska (with n=4)	Full Load	n	4.00	4.00	4.00
		k	0.166	0.169	0.393
	Ballast	n	4.00	4.00	4.00
		k	0.337	0.382	0.304

浮心위치에서의 曳引力을 모형선의 全抵抗으로 간주하였고, 自航推進시험은 저항시험과 동일한 상태에서 英國式 방법으로 수행하였다. 모든 모형선에 대해 위벽효과는 무시할 수 있을 만큼 작다고 생각되어 고려하지 않았다.

3. 模型船—模型船 相關 解析

3.1. 抵抗性能 해석

저항시험 결과해석은 1957 ITTC 模型船—實船 相關曲線을 사용하여 Froude해석법과 Hughes 해석법을 각각 적용하여 수행하였다. Fig. 1에는 1/25, 1/50, 1/75 모형선의 Full Load 상태에 대한 잉여저항계수 C_R과 조파저항계수 C_W를 함께 도시하였다. Fig. 2는 Ballast 상태에 대한 것이다. 한편 Hughes해석법 가운데 형상영향계수 k는 다음과 같이 1981 ITTC방법으로 구하였다[5].

$$\frac{C_{TM}}{C_{FM}}=(1+k)+y\cdot\frac{Fn^n}{C_{FM}} \qquad (1)$$

즉, (Fn^n/C_{FM})을 횡축으로하고 (C_{TM}/C_{FM})을 종축으로 하여 저항시험 결과를 Plotting 한 후 Froude수가 0.1~0.2범위의 값들을 最小 自乘法을 사용하여 직선

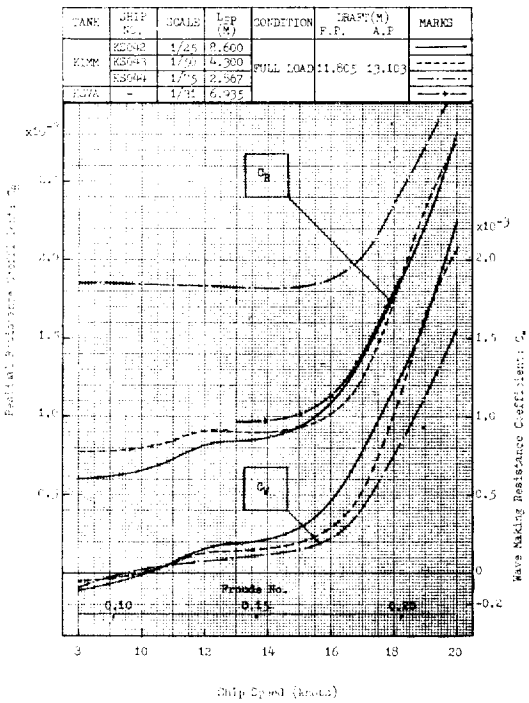

Fig. 1. Residual and Wave Making Resistance Coefficients for Full Load Condition

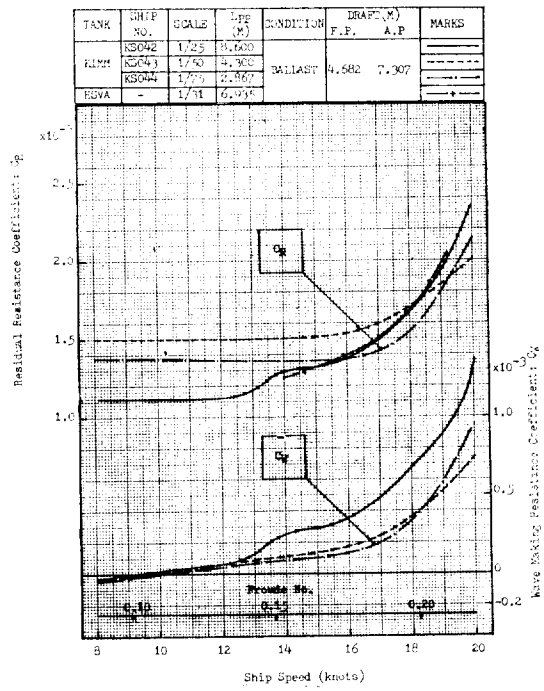

Fig. 2. Residual and Wave Making Resistance Coefficients for Ballast Condition

으로 Fairing하였다. 그 과정은 횡축(Fn^n/C_{FM})에서 n 값을 2.0으로부터 8.0까지 0.25간격으로 바꾸어가며 수행하여 표준편차가 가장 작은 경우 횡축이 零 일때의 종축 값이 $(1+k)$가 된다. 그 계산결과는 Table 3과 같다. 이 표에는 Prohaska 방법[2] ($n=4$로 고정시켜서 계산)에 의한 결과도 함께 수록되어 있다. Table 4는 1/25 모형선의 Ballast 상태의 저항시험 해석결과를 형상영향계수의 계산 과정과 함께 보여주고 있다.

Fig. 1의 Full Load 상태에서 C_R을 비교해보면, 1/25 모형선과 1/50 모형선은 Froude수가 0.15 이상에서는 거의 비슷한 값을 보여주고 있으나 Froude수가 0.15 이하에서는 1/50 모형선이 비교적 큰 값을 보여주고 있다. 따라서 k는 비슷한 값을 가지게 되나 C_W는 큰 차이를 보여 주고 있다. 한편 1/75 모형선의 경우엔 C_R 값이 다른 모형선에 비해 모든 속도 범위에서 전반적으로 큰 값을 가지며 따라서 k가 크게 나타나지만 C_W는 그다지 큰 차이를 보이지 않고 있다.

Fig. 2의 Ballast 상태의 C_R을 보면 Froude수가 0.15 이하에서 1/25 모형선의 C_R이 급격히 작아지고 있으며, 1/50 모형선과 1/75 모형선의 C_R은 전체속도 범위에서 거의 일정한 차이를 두고 평행하게 나타나고 있다.

한편 HSVA 저항시험 결과는 Full Load, Ballast 상

데 공히 SRS-KIMM의 1/25 모형시험 결과와 비슷한 값을 보여주고 있다.

이상의 결과들로부터 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

(i) Hughes 해석법의 중요과정인 형상영향계수 k의 추정에 있어서 1981 ITTC 방법은 Froude수의 하한선 부근의 값이 큰 영향을 미치므로 모형선의 임계 레이놀드數 등을 고려하여 해석자의 판단에 의해 Froude 수의 하한선을 적당히 택하여 계산하여야 하겠다.

(ii) 본 저항시험에 의한 C_W와 C_R 값의 경향 만으로는 Hughes 해석방법이 Froude 해석방법보다 저항성분의 분리면에서 우수하다고 단언하기는 어렵다.

3.2. 프로펠러 單獨性能 해석

프로펠러 단독성능 곡선은 Fig. 3과 같다. 여기에는 1/25, 1/50모형프로펠러에 대한 단독성능 곡선이 실선 프로펠러에 대한 단독성능곡선과 함께 도시되어있다. 이 실선 프로펠러 단독곡선은 다음과 같이 구하였다.

Open Water에서의 추력 및 토오크계수는 각각 다음과 같다.

$$K_{OTS}=K_{OTM}-\Delta K_{OT} \tag{2}$$

$$K_{OQS}=K_{OQM}-\Delta K_{OQ} \tag{3}$$

여기서 ΔK_{OT}와 ΔK_{OQ}는 각각 실선과의 척도효과를 고려한 것으로,

$$\Delta K_{OT}=-\Delta C_D\cdot 0.3\cdot(P/D)\cdot(C\cdot Z/D) \tag{4}$$

$$\Delta K_{OQ}=\Delta C_D\cdot 0.25\cdot(C\cdot Z/D) \tag{5}$$

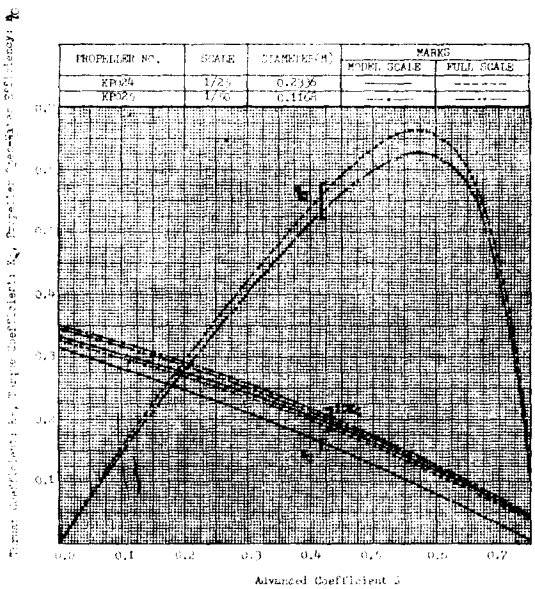

Fig. 3. Propeller Open-water Characteristic Curves

또한 ΔC_D는 모형선—실선의 抗力係數의 차이로,

$$\Delta C_D=C_{DM}-C_{DS}$$

$$C_{DS}=2\cdot[1+2\cdot(t/c)]\cdot[1.89+1.62\cdot\log(c/k_p)]^{-2.5} \tag{6}$$

$$C_{DM}=2\cdot[1+2\cdot(t/c)]\cdot(0.044/R_{nco}^{1/6}-A/R_{nco}^{2/3}) \tag{7}$$

여기서 k_p는 실선프로펠러의 표면거칠기로 30×10^{-6}m를 기준으로 하였고, (t/c)와 (PD)는 각각 프로펠러 $0.7R$에서의 두께—코드길이의 比, 피치比이다.

Oosterveld와 van Oossanen은 1972년 B-series 프로펠러를 해석하여 항력계수는 (EAR/Z)와 (P/D)의 영향을 받음을 보여주었고 그 결과에 따라 다음과 같이 A값을 계산한 바 있다.

$$A=13.26-(t/c)\cdot 565-\left[\frac{492}{1+0.2\cdot(P/D)^2}\right] \tag{8}$$

그러나 본 연구에서는 1978 ITTC의 추천에 따라 $A=5$를 적용하였다.

1/25 모형프로펠러와 1/50 모형프로펠러의 단독성능을 비교해 보면 推力계수 K_T는 거의 비슷하나 토오크계수 K_Q는 0.0013가량 차이가 나고 있으며 이와 같은 차이는 실선의 경우로 추정된 값에서도 동일하게 나타나고 있다. 이와 같은 현상은 1/50 모형프로펠러의 레이놀드數가 임계치보다 작은데서 기인하는 불규칙한 오차라고만 볼 수는 없고, 적절한 척도효과 고려방법에 의해 규명될 수도 있다고 생각된다.

이상의 결과들로부터 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

(i) 일반적으로 알려진 바와 같이[6] 추력계수 K_T는 척도효과를 거의 받지 않는 반면 토오크계수 K_Q는 척도효과를 크게 받고 있다.

(ii) 모형프로펠러의 임계레이놀드수에 대한 경험적인 기준들을 볼 때[7,8], 1/25 모형프로펠러의 값은 적절하다고 본다. 한편 1/50 모형프로펠러(직경 0.1168 m)의 값은 해석에 활용하기는 어려우며 이를 위하여는 단독성능 척도효과에 대한 연구가 선행되어야 하겠다.

3.3. 推進性能 해석

自航推進試驗의 결과해석은 저항시험, 프로펠러단독시험 결과와 함께 1957 ITTC 모형선—실선 상관곡선을 사용하여 수행하였다. Fig. 4와 Fig. 5에는 실선에 대한 각종 추진계수들이 Full Load와 Ballast 상태별로 도시되어있다. 이 해석과정을 간략히 기술하면 다음과 같다.

* 實船自航상태 (Ship Self-Propulsion Point)
* 推力一致法 (Thrust Identity)
* 척도효과 : $t_S=t_M$

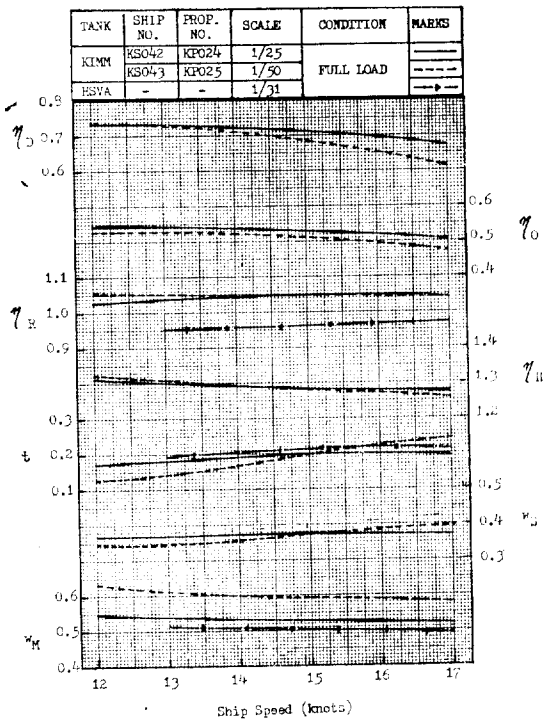

Fig. 4. Propulsive Coefficients for Full Load Condition

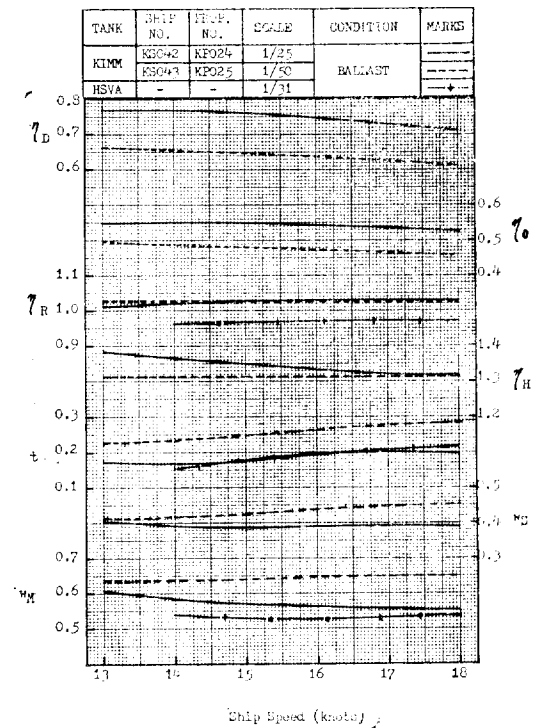

Fig. 5. Propulsive Coefficients for Ballast Condition

$$\eta_{RS}=\eta_{RM}$$

$\eta_{OS}=\eta_{OM}$: 식 (2)~(7) 참조

$$w_{TS}=(t+0.04)+(w_{TM}-t-0.04)\cdot\frac{(1+k)\cdot C_{FS}+\Delta C_F}{(1+k)\cdot C_{FMC}} \quad (9)$$

* 실선의 프로펠러 負荷는 다음과 같이 구한다.

$$\frac{K_T}{J^2}=\frac{S}{2\cdot D_2{}^S}\cdot\frac{C_{TS}}{(1-t)\cdot(1-w_{TS})^2} \quad (10)$$

실선프로펠러단독곡선으로부터 (K_T/J^2)에 대응하는 J_{TS}와 K_{QTS}를 각각 찾아읽어 다음의 계산을 한다.

$$* \quad n_S=\frac{(1-w_{TS})\cdot V_S}{J_{TS}\cdot D_S}\ (rps) \quad (11)$$

$$* \quad P_{DS}=1.36\cdot 2\cdot\pi\cdot\rho_S\cdot D_S^5\cdot n_S^3\cdot\frac{K_{QTS}}{\eta_{RM}}\cdot 10^{-3}(PS) \quad (12)$$

$$* \quad P_{ES}=1.36\cdot C_{TS}\cdot\frac{1}{2}\cdot\rho_S\cdot S_S\cdot V_S{}^3\cdot 10^{-3}(PS) \quad (13)$$

Table 5는 1/25모형의 Ballast 상태의 추진성능을 Hughes 해석법에 의해 해석한 것이다.

Fig. 4의 Full Load상태에서의 추진계수들을 비교해 볼때 모형선 추력감소계수 t_M은 1/25모형과 1/50모형이 거의 비슷하고 모형선 반류계수 w_M은 차이를 보여주고 있으나 1978 ITTC 해석법으로 반류계수에 대한 척도효과를 고려해 준 결과 실선 반류계수 w_S는 거의 비슷한 값을 가지게 되었으며 따라서 실선 선체효율 η_{HS}는 거의 비슷하였다. 또한 상대회전효율 η_R도 거의 비슷한 값을 보여주고 있다. Fig. 5의 Ballast상태에서의 추진계수들도 Full Load 상태의 경우와 같은 경향을 보여주고 있다.

특이할 만한 것은 상대회전효율 η_R이 1/25모형의 경우와 1/50모형의 경우가 거의 동일하다는 점이다. 이는 Full Load와 Ballast상태 공히 나타난 현상이며 η_R은 공학적으로 자항추진시험시의 추력과 토오크의 比이므로 자항추진시험시의 추력과 토오크는 각각 정확하게 계측되었다고 추측할 수 있다. 따라서 프로펠러 단독시험시의 토오크계수의 차이는 척도효과를 적절히 고려해 줌으로서 고려될 수 있음을 알 수 있다.

한편HSVA 수조의 결과와 비교해 볼 때 모형선 추력감소계수 t_M은 Full Load와 Ballast상태 공히 1/25모형시험 결과와 거의 일치하고, 모형선 반류계수 w_M은 약간의 차이를 보여주고 있으며 다른 결과들은 프로펠러가 서로 다르므로 비교에서 제외하였다.

이상의 결과들은 Fig. 6의 실선 회전수, 전달마력, 유효마력 곡선과 함께 검토하여 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

Table 4. Sample Output of Powering Performance Calculation (Output EHP Using Hughes Method and Calculation of Form Factor k)

```
                                   --------------------------------------------------
                                   CALCULATION OF EFFECTIVE POWER TO ITTC CONSTANTS
 13-MAR-82                         --------------------------------------------------     SHIP RESEARCH STATION , KIMM

TEST NO.             :   042PE02     SYMBOLS                                 INTRODUCED VALUES AND FORMULAS
                                     -------                                 ------------------------------
SHIP MODEL NO.       :   KS042       C3   THREE DIMENSIONAL FORM FACTOR      TEMPERATURE TANK WATER      = 17.5  C
                                          ON FLAT PLATE FRICTION
SCALE RATIO          :   25.0000                                             STANDARD TEMPERATURE        = 15.0  C
                                     CFM  SPECIFIC FRICTIONAL MODEL
                                          RESISTANCE COEF.                   COEF. OF KINEMATIC    NUM = 1.0678 E-06  M2/SEC
MODEL CONDITION                                                              VISCOSITY FOR 17.5 C
---------------                      CFS  SPECIFIC FRICTIONAL SHIP
                                          RESISTANCE COEF.                   COEF. OF KINEMATIC    NUS = 1.1873 E-06  M2/SEC
                                                                             VISCOSITY FOR 15.0 C
BOW CONFIGURATION :                  CIRCC  R.E.FROUDE'S RESISTANCE COEF.
                                                                             MASS DENSITY          RHOM = 999.05       N/M3
STERN OUTLINE     :                  CRM  SPECIFIC RESIDUARY MODEL                    FOR 17.5 C
                                          RESISTANCE COEF.
APPENDAGES        :                                                          MASS DENSITY          RHOS =1025.87       N/M3
  1 RUDDER                           CTM  SPECIFIC TOTAL MODEL RESISTANCE             FOR 15.0 C
                                          COFF.
                                                                             C3 =  0.34659         DCF  =  0.00028
  ND105(HD 60K)                      CTS  SPECIFIC TOTAL SHIP RESISTANCE
  APP./ BALLAST                           COEF.                                          VM * LM                        VS * LS
                                                                             RN (MODEL) = -------      RN (SHIP) = -------
DRAFT MOULDED      ON F.P =  4.682 M FN   FROUDE NUMBER                                    NUM                            NUS
                   ON A.P =  7.307 M
                     MEAN =  5.995 M PE   EFFECTIVE POWER                    CTS = ((1.0+C3)*CFS+DCF)*(SA+SBK)/SA+CRM+CAA

DISPLACEMENT VOLUME  DISV = 32920. M3 RN  REYNOLDS NUMBER                                 0.075
                                                                             CF = -----------------
WETTED SURFACE SHIP    SS =  7754.0 M2 RTM TOTAL MODEL RESISTANCE                  (ALOG10(RN)-2)**2.
              MODEL    SM = 12.4064 M2
     SHIP BILGE KEELS SBK =     0.0 M2 RTS TOTAL SHIP RESISTANCE                             PE (METRIC)                  VS
PROJ.AREA ABOVE BL     AT =     0.0 M2                                       CIRCC = 427.1-----------------     FN = ----------
                                     VM   MODEL SPEED                                   MA**(2/3.)*VS**3               SQRT(G*LS)
SUBMERGED LENGTH SHIP  LS = 223.830 M
               MODEL   LM =  8.9532  VS   SHIP SPEED
```

VS KNOTS	VM M/SEC	RTM N	CTM *E+03	RN (MODEL)	CFM *E+03	RN (SHIP)	CFS *E+03	CRM *E+03	CTS *E+03	PE KW	PE MET.HP	PE (FRICT.)	PE (RESID.)	CIRCC	FN
8.00	0.8230	18.14	4.321	6.901E+06	3.203	7.758E+08	1.580	0.008	2.414	669.2	910.1	907.2	3.0	0.7271	0.0878
9.00	0.9259	22.60	4.254	7.763E+06	3.136	8.728E+08	1.557	0.030	2.405	949.3	1291.1	1274.9	16.2	0.7244	0.0988
10.00	1.0288	27.53	4.197	8.626E+06	3.079	9.697E+08	1.536	0.051	2.399	1298.9	1766.6	1728.6	37.9	0.7226	0.1098
11.00	1.1317	32.90	4.145	9.488E+06	3.028	10.667E+08	1.518	0.068	2.392	1723.5	2344.0	2277.0	67.0	0.7203	0.1208
12.00	1.2346	38.73	4.100	10.351E+06	2.992	11.637E+08	1.502	0.085	2.386	2232.5	3036.2	2928.4	107.7	0.7187	0.1318
13.00	1.3374	45.62	4.115	11.214E+06	2.941	12.606E+08	1.488	0.155	2.437	2898.3	3941.6	3691.3	250.3	0.7338	0.1427
14.00	1.4403	54.06	4.205	12.076E+06	2.904	13.576E+08	1.474	0.294	2.558	3800.4	5168.6	4573.9	594.6	0.7704	0.1537
15.00	1.5432	61.82	4.189	12.939E+06	2.870	14.546E+08	1.462	0.324	2.571	4698.0	6389.3	5584.5	804.8	0.7743	0.1647
15.50	1.5946	66.03	4.190	13.370E+06	2.854	15.031E+08	1.456	0.347	2.586	5213.7	7090.6	6140.4	950.2	0.7788	0.1702
16.00	1.6461	70.69	4.210	13.801E+06	2.839	15.516E+08	1.450	0.387	2.619	5807.5	7898.1	6731.3	1166.8	0.7387	0.1757
17.00	1.7490	81.40	4.294	14.664E+06	2.810	16.485E+08	1.440	0.510	2.728	7255.5	9867.5	8022.5	1845.0	0.8215	0.1867
18.00	1.8518	94.95	4.468	15.527E+06	2.783	17.455E+08	1.430	0.720	2.924	9233.3	12557.2	9466.2	3091.0	0.8807	0.1976
19.00	1.9547	110.89	4.683	16.389E+06	2.758	18.425E+08	1.421	0.969	3.161	11737.4	15962.8	11070.4	4892.0	0.9519	0.2086
20.00	2.0576	131.56	5.090	17.252E+06	2.735	19.395E+08	1.412	1.408	3.588	15540.5	21135.0	12843.2	8291.8	1.0806	0.2196

```
SIGMAI=.016 .015 .014 .013 .012 .011 .011 .010 .010 .010 .010 .010 .010 .011 .011 .012 .012 .013 .014 .014 .015 .016 .017 .017 .018
C3    =.253 .271 .285 .297 .308 .316 .324 .331 .337 .342 .347 .351 .355 .358 .362 .365 .367 .370 .373 .375 .377 .379 .381 .383 .384
NALPHA= 3   NOMEGA=12   NTH=4.50   C3=   0.34659   SIGMAN=   0.0097648
```

Table 5. Sample Output of Powering Performance Calculation (Output DHP Using Hughes Method)

```
                                          ======================
                                          PERFORMANCE PREDICTION
 13-MAR-82                                ======================              SHIP RESEARCH STATION , KIMM

PROJECT              NO.: ND105    SHIP CONDITION                     THE SELF-PROPULSION,RESISTANCE AND PROPELLER OPEN-WATER TEST RESULTS
SHIP MODEL           NO.: KS042    --------------
PROP.MODEL           NO.: KP026    DRAFT MOULDED ON FP=   4.682 M
RESISTANCE TEST      NO.: 042RE02               ON AP=   7.307 M
OPEN-WATER TEST      NO.: 026OW01  DISPLACEMENT VOLUME= 32920. M3
SELF-PROP. TEST      NO.: 042SP06  WETTED SURFACE AREA= 7754.0 M2
                                           BILGE KEEL=    0.0 M2
MODEL SCALE RATIO  = 25.0000       LENGTH SUBMERGED    =223.830 M
                                   LENGTH BETWEEN PERP=215.000 M
      TEMP  DENSITY  KIN.VISC.     PROJ.AREA ABOVE WL.=     0.0 M2
      (DEG)  (N/M3)    (M2/S)      APPENDAGE
RES   17.5   999.05  1.0678E6         1 RUDDER
POW   15.5   999.05  1.1245E6
SP    14.5   999.05  1.1546E6
SEA   15.0  1025.87  1.1873E6         HYND 60K
                                      BALLAST COND.
MODEL-SHIP                         PROPELLER CONDITION
 FORM FACTOR       C3 =  0.34659   -----------------
 ROUGHN.ALLOW.   DCF =  0.00028    NUMBER OF PROPELLER=      1
 PROP.BLADE ROUGHN.= 30.0 E-6      NUMBER OF BLADE     =      5
TRIAL CORRECTION                   DIAMETER            =  5.840 M
 FOR  PD          CP =  1.00000    PITCH RATIO AT 0.7R= 0.6695
 FOR RPM          CN =  1.00000    CHORD LENGTH   0.7R=  1.537 M
 FOR CFC   DELTCFC =  0.00000      MAX.THICKNESS  0.7R=  0.081 M
 FOR WFTS   DELTWC =  0.00000      TURNING WISE      : RIGHT HAND
```

SHIP SPEED (KNOT)	MODEL SPEED (M/S)	RESIS-TANCE (N)	FRIC. CORR. (N)	RATE REVS. (RPS)	THRUST (N)	TORQUE (N-M)
12.000	1.235	38.73	16.25	6.62	27.93	0.7460
13.000	1.337	45.62	18.77	7.30	33.05	0.8810
14.000	1.440	54.06	21.46	8.00	38.86	1.0310
15.000	1.543	61.82	24.30	8.75	46.01	1.2170
16.000	1.646	70.69	27.31	9.53	54.55	1.4390
17.000	1.749	81.40	30.47	10.36	64.82	1.7070
18.000	1.852	94.95	33.79	11.25	77.11	2.0300

OPEN-WATER CHARACT. RN=0.42E6(15.0RPS)

(J)	(KT)	(10KQ)
0.100	0.2820	0.3030
0.150	0.2650	0.2890
0.200	0.2480	0.2740
0.250	0.2300	0.2590
0.300	0.2110	0.2430
0.350	0.1910	0.2250
0.400	0.1710	0.2060
0.450	0.1490	0.18[illegible]
0.500	0.1260	0.1620
0.550	0.1010	0.1400
0.600	0.0780	0.1170

SHIP SPEED (KNOT)	EFFECT. POWER (HP)	DELIVE. POWER (HP)	RATE REVS. (RPM)	THRUST (KN)	TORQUE (KN-M)	FN NO.	CTM (E-3)	CTS (E-3)	CR (E-3)
12.000	3036	3747	87.57	439	300	.132	4.100	2.386	0.085
13.000	3941	4860	96.18	521	354	.143	4.115	2.437	0.155
14.000	5168	6275	105.66	616	417	.154	4.205	2.558	0.294
15.000	6389	7985	114.24	731	490	.165	4.189	2.571	0.324
16.000	7898	10180	123.31	870	579	.176	4.210	2.619	0.387
17.000	9867	13096	133.41	1036	689	.187	4.294	2.728	0.510
18.000	12557	16945	144.73	1236	822	.198	4.468	2.924	0.720

SHIP SPEED (KNOT)	ADVC J	THRU. DEDU. (THDF)	MODE. WAKE. (WFTM)	SHIP WAKE (WFTS)	TOTA. EFF. (ETAD)	PROP. EFF. (ETA0)	HULL EFF. (ETAH)	RELAT. ROTAT. (ETAR)
12.000	.396	0.177	0.635	0.453	0.810	0.536	1.505	1.003
13.000	.402	0.170	0.609	0.437	0.811	0.543	1.475	1.012
14.000	.410	0.144	0.588	0.415	0.824	0.551	1.463	1.022
15.000	.404	0.168	0.573	0.417	0.800	0.545	1.428	1.028
16.000	.397	0.189	0.563	0.422	0.776	0.537	1.402	1.030
17.000	.388	0.200	0.557	0.423	0.753	0.527	1.388	1.031
18.000	.382	0.193	0.552	0.418	0.741	0.519	1.387	1.029

OPEN-WATER CHARACT. FULL SCALE

(J)	(KT)	(10KQ)
0.100	0.2924	0.2985
0.150	0.2654	0.2845
0.200	0.2484	0.2695
0.250	0.2304	0.2545
0.300	0.2114	0.2385
0.350	0.1914	0.2205
0.400	0.1714	0.2016
0.450	0.1494	0.1796
0.500	0.1264	0.1576
0.550	0.1014	0.1356
0.600	0.0784	0.1126

- * THE TEST AND ANALYSIS WERE CARRIED OUT ACCORDING TO THE THREE DIMENSIONAL METHOD USING THE 1957 ITTC MODEL-SHIP COMPILATION LINE "CTS=((1.0+C3)*CFS+DCF)*(SA+SBK)/SA+CRM+CAA"
- * THE RESULTS OF SELF-PROPULSION TEST WERE REFER TO THE SELF-PROPULSION POINT OF SHIP
- * THE WAKE FRACTION AND PROPELLER EFFICIENCY WERE CALCULATED BASED ON THE PROPELLER OPEN-WATER DIAGRAM ASSUMING THE THRUST IDENTITY
- * THE THRUST DEDUCTION FRACTION(THDF) AND RELATIVE ROTATIVE EFFIC.(ETAR) AS FOUND FOR THE MODEL WERE ALSO TAKEN FOR THE ACTUAL SHIP
- * THE WAKE FRACTION FOR ACTUAL SHIP(WFTS) AND PROPELLER EFFICIENCY(ETA0) WERE CALCULATED ACCORDING TO THE 1978 ITTC PERFORM. METHOD
- * THE RATE OF REVOLUTION (RPM) WAS CALCULATED BASED ON THE POW DIAGRAM ASSUMING THE SPEED IDENTITY BY THE 1978 ITTC PERFORM. METHOD

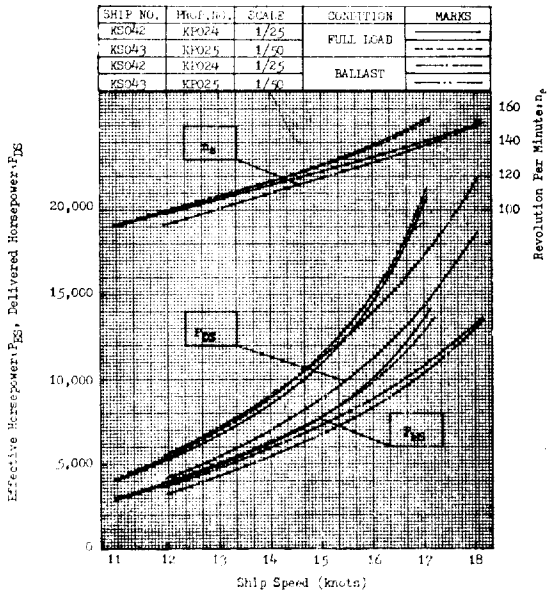

Fig. 6. Power Performance Curves

i) 축척비의 변화에 따른 추진계수들의 차이는 Full Load 상태보다 Ballast 상태에서 더 크다.

ii) 1/50모형의 경우가 1/25모형의 경우보다 상대적으로 Boundary Layer가 더 두꺼우므로 추력감소계수 t_M과 반류계수 w_M이 더 크게 나타난 것은 타당하다.

iii) 모형선간의 반류계수 값을 비교해 볼때, 반류계수의 척도효과는 1978 ITTC해석법에 의하여 적절히 고려할 수 있을 것으로 판단된다.

iv) 1/50모형의 실험결과가 비록 精度는 좋지 못하나 척도효과—특히 단독효율—를 면밀히 고려할 수 있다면 실용화의 가능성도 있다고 하겠다.

4. 模型船—實船 相關解析

4.1. 速力試運轉 해석법

실선 속력시운전 결과해석은 진공상태해석과 모형선—실선 상관해석으로 나뉘는데 공기저항에 대한 수정은 Tamura[3]의 방법을 채용하였고 상관해석에는 토오크 일치법(Torque-Identity)을 적용하였다. 조류속도는 계측하지 않았으므로 零으로 간주하였고, 천수(Shallow Water)효과는 무시하였다.

공기저항은 R_{AA}는 다음과 같이 계산하였다.

$$R_{AA}=\frac{1}{2}\cdot\rho_A\cdot C_X\cdot A_T\cdot K\cdot V_R^2 \tag{14}$$

이때 C_X와 K는 각각 모형풍동시험 등에서 얻은곡선[1]에서 찾아 읽는다.

한편 프로펠러 부하계수 τ는

$$\tau=\frac{K_T}{J^2}=\frac{T/\rho_s}{V_A^2\cdot D^2} \tag{15}$$

공기저항 R_W의 감소에따른 부하계수 τ의 감소량은,

$$\Delta\tau=\frac{R_{AA}}{\rho_S\cdot(1-t)\cdot V_A^2\cdot D^2}=\frac{\rho_A\cdot C_X\cdot A_T\cdot K\cdot V_R^2}{2\cdot\rho_s\cdot(1-t)\cdot V_A^2\cdot D^2} \tag{16}$$

프로펠러가 작동하는 J의 값은 좁은 범위이므로 프로펠러 단독곡선은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$K_T=a\cdot(J_T-J) \tag{17}$$

$$K_Q=b\cdot(J_Q-J) \tag{18}$$

식(15), (17), (18)로 부터

$$\frac{d\tau}{dJ}=\frac{a\cdot(2\cdot J_t-J)}{J^3} \tag{19}$$

$\Delta\tau$의 감소에 따른 ΔJ의 증가는 다음과 같다.

$$\Delta J=-\frac{J'^3}{a\cdot(2\cdot J_t-J')}\cdot\Delta\tau \tag{20}$$

토오크 감소량 ΔK_{Q1}과 회전수 감소량 Δn_1은 같은 방법으로 다음과 같이 구한다.

$$\Delta K_{Q1}=\frac{b\cdot J''^3}{a\cdot(2\cdot J_t-J'')}\cdot\Delta\tau \tag{21}$$

$$\Delta n_1=\frac{V_A\cdot J''}{D\cdot a\cdot(2\cdot J_t-J'')}\cdot\Delta\tau \tag{22}$$

여기서

$$J+\Delta J\geqq J' \tag{23}$$

$$J''\geqq J \tag{24}$$

이므로 다음과 같이 간주할 수 있다.

$$J'=J''=J+\frac{1}{2}\cdot\Delta\tau \tag{25}$$

그러나 일반적으로 필요한 것은 시운전 시의 회전수 n을 그대로 두고 해석하는 것 이므로 식 (21), (22)를 통해 얻은 결과를 보정하여 최초의 회전수 n에 대한 K_{Q1}' 값을 읽어 계산하도록 하였다.

$$P_{D1}=P_D\cdot\frac{K_{Q1}'}{K_Q} \tag{26}$$

$$V_1=V_S+\Delta V_1 \tag{27}$$

이때 속도의 변화량 ΔV_1은,

$$\Delta V_1=-\frac{D\cdot n}{b\cdot(1-w)}\cdot\Delta K_{Q1} \tag{28}$$

위와같이 공기저항을 고려하여 얻은 V_S, n_S, P_{DS}로부터 토오크 일치법을 적용하여 다음과 같이 상관해석을 하였다.

$$K_Q=\frac{75\cdot P_{DS}}{2\cdot\pi\cdot\rho_s\cdot n_S^3\cdot D_S^5}\cdot\frac{1}{(\mathrm{NOPROP})} \tag{29}$$

$$K_{QO}=K_Q\cdot\eta_{RM} \tag{30}$$

여기서 (NOPROP)는 프로펠러수이다.

K_{QO}에 대응하는 J와 K_T 값을 프로펠러 단독곡선에서 찾아 읽은 후 반류비 $(1-w_{QS})$를 다음과 같이 계

Table 6.a. Sample Output of Speed Trial Analysis (Page 1: Input Data)

```
                    SPEED TRIAL ANALYSIS

SHIP NAME: S042E155   PROP.NAME : 5/6/4,24    TRIAL DATE  : 15-JUL-81
* LPP     = 215,00 M  * DIA      =  6,000 M  * COURSE     : OFF ULSAL
* B       = 32,200 M  * PR070    = 0,7062    * DRAFT MEAN= 5,9895    M
* D       = 18,000 M  * EAR      = 0,5900            F.P.= 4,8460    M
* NOPROP  =      1    * NPB      =      5            A.P.= 7,1330    M
* LOS     = 223,83 M                                MID.= 6,0420    M
* S       = 7754,0 M2 ENGINE NAME:B&W7L67G  * TEMP.WATER=  15,60 DEG.
* SBK     =    0,0 M2 * MCR BHP =  15200,          AIR  =  26,00 DEG.
* AT      =  966,0 M2        RPM = 123,00    * DENS.WATER= 1025,78 N/M3
* AL      = 3010,0 M2 * NCR BHP =  13800,          AIR  =   1,22 N/M3
* DISV    = 32914,M3         RPM = 119,00    * KIN.VISC.W=1,1682 E6M2/S


RESISTANCE AND PROPULSION MODEL TEST RESULTS      SCALE RATIO = 25,00000
* VS(KNOT): 12,00 13,00 14,00 15,00 16,00 17,00 18,00
* CRM*1000: 1,118 1,174 1,301 1,319 1,371 1,484 1,684
* 1-TM    : 0,819 0,826 0,852 0,828 0,807 0,797 0,803
* 1-WM    : 0,354 0,381 0,404 0,420 0,430 0,435 0,439
* ETARM   : 1,006 1,015 1,022 1,027 1,030 1,031 1,030

PROPELLER OPEN-WATER CHARACTERISTICS AT FULL SCALE
* J       : 0,200 0,250 0,300 0,350 0,400 0,450 0,500 0,550 0,600
* KTB     : 0,253 0,236 0,218 0,200 0,179 0,158 0,136 0,113 0,089
* KQB*10  : 0,281 0,267 0,251 0,234 0,215 0,195 0,174 0,154 0,133

DELEFD=(CTB-CRD)/((3+GRR)/S)-(1,0+C3)*CFS      C3= 0,00000


SPEED TRIAL RESULTS
-----------------------------------------------------------------------------
RUN LOAD  RUNNING  SHIP   RATE   SHAFT  WIND  WIND   CURRENT   INNING
NO. -ING  DIRECT.  SPEED  REVS.  POWER  DIR.  SPEED  SPEED     TIME
    (%)   (DEG)  (KNOT)  (RPM)  (HP)   (DEG) (M/S)  (KNOT)
-----------------------------------------------------------------------------
 1  0,50   242    13,490  101,18  7762.  P 25. 17,000  0,000   14:30
 2  0,50   62     14,650  101,69  7885.  S103.  6,000  0,000   15:16
 3  0,75   62     16,740  115,16  11323. S 77.  9,000  0,000   15:43
 4  0,75   242    14,800  114,94  11429. P 30. 17,500  0,000   16:17
 5  0,90   242    15,900  120,96  13229. P 22. 19,500  0,000   16:46
 6  0,90   62     16,930  121,21  13288. S103.  5,500  0,000   17:22
 7  1,00   62     18,110  126,58  14922. S 90.  8,000  0,000   17:49
 8  1,00   242    16,070  126,58  14988. P 17. 18,000  0,000   18:43
```

Table 6.b. Sample Output of Speed Trial Analysis (Page 2: Output Data)

```
SHIP NAME: S042E155   PROP.NAME : 5/6/4,24    TRIAL DATE  : 15-JUL-81
* LPP     = 215,00 M  * DIA      =  6,000 M  * COURSE     : OFF ULSAL


CORRECTION TO VACUUM CONDITION                    CX= 0,72110
-----------------------------------------------------------------------------
RUN  PDS    KQS     JQS  KV  DELRV  1-TV DELJV  KQV   KQFV   PDV      VSV
NO.  (HP)   *10             (KN)                *10   *10    (HP)   (KNOT)
-----------------------------------------------------------------------------
 1  7537.  0,231 0,359 1,18 144,7 0,842 0,031 ,2191 ,2255  7368. 14,662
 2  7659.  0,231 0,358-0,01  -0,1 0,833 0,000 ,2309 ,2259  7495. 14,649
 3 11067.  0,230 0,361 0,29   9,9 0,865 0,002 ,2291 ,2283 11000. 16,821
 4 11175.  0,233 0,352 1,20 156,2 0,831 0,026 ,2237 ,2284 10940. 15,884
 5 12960.  0,232 0,355 1,15 185,2 0,812 0,029 ,2215 ,2263 12638. 17,180
 6 13018.  0,232 0,356-0,01  -0,1 0,798 0,000 ,2317 ,2262 12707. 16,929
 7 14640.  0,229 0,364 0,15   4,1 0,804 0,001 ,2286 ,2243 14353. 18,140
 8 14706.  0,230 0,361 1,08 149,1 0,809 0,022 ,2219 ,2243 14393. 17,029

CORRECTION TO STANDARD CONDITION
-----------------------------------------------------------------------------
RUN VSV-U   N3     JQC   KA   DELRA  1-TA DELJA  KQA   KQFA   PDA      VSA
NO. (KNOT)(RPM)                (KN)               *10   *10    (HP)   (KNOT)
-----------------------------------------------------------------------------
 1 14,662 107,73 0,372 1,00 -24,2 0,833-0,006 ,2275 ,2274  7448. 14,427
 2 14,649 100,17 0,371 1,00 -24,1 0,830-0,005 ,2280 ,2274  7540. 14,435
 3 16,821 113,89 0,365 1,00 -31,8 0,799-0,006 ,2304 ,2291 11039. 16,587
 4 15,884 121,17 0,365 1,00 -20,4 0,812-0,005 ,2302 ,2291 10976. 15,651
 5 17,180 128,13 0,370 1,00 -33,2 0,797-0,006 ,2285 ,2288 12777. 16,906
 6 16,929 119,44 0,371 1,00 -32,2 0,798-0,005 ,2282 ,2288 12855. 16,686
 7 18,140 124,85 0,376 1,00 -37,0 0,805-0,006 ,2264 ,2279 14581. 17,066
 8 17,029 131,99 0,376 1,00 -32,6 0,797-0,005 ,2262 ,0000     0.  0,000

MODEL-SHIP CORRELATION ANALYSIS                   CONDITION: NO-AI
-----------------------------------------------------------------------------
RUN  VSD  ETAR   JQD  1-WM   EI    KTD  1-TM   PED     CTD   CR    DELCFD
NO.                                            (HP)   *E3   *E3     *E3
-----------------------------------------------------------------------------
 1 14,662 1,025 0,357 0,479 1,156 ,1970 0,833  6365. 2,744 1,302 -0,021
 2 14,649 1,025 0,356 0,481 1,159 ,1975 0,834  6441. 2,784 1,302  0,019
 3 16,821 1,031 0,346 0,460 1,058 ,2016 0,799  9279. 2,649 1,462 -0,252
 4 15,884 1,030 0,347 0,488 1,137 ,2014 0,812  8862. 3,004 1,370  0,186
 5 17,180 1,031 0,352 0,482 1,103 ,1993 0,797 10306. 2,762 1,314 -0,188
 6 16,929 1,031 0,352 0,490 1,125 ,1992 0,798 10209. 2,859 1,477 -0,056
 7 18,140 1,030 0,358 0,486 1,107 ,1967 0,805 11889. 2,706 1,718 -0,437
 8 17,029 1,031 0,357 0,516 1,183 ,1971 0,797 11075. 3,047 1,491  0,119
```

산한다.

$$(1-w_{QS})=\frac{J\cdot n_S\cdot D}{V_S} \tag{31}$$

伴流修正계수 e_i는 식(31)결과와 모형시험시 반류비의 比로서,

$$e_i=\frac{(1-w_{QS})}{(1-w_{TM})} \tag{32}$$

실선의 유효마력과 전저항계수는,

$$P_E=\frac{1}{75}\cdot\rho_s\cdot D_S^4\cdot V_S\cdot n_S^2\cdot K_T\cdot(1-t_M) \tag{33}$$

$$C_{TS}=\frac{75\cdot 2}{\rho_s\cdot S_S V_S^3}\cdot P_E \tag{34}$$

모형시험 결과로부터 조파저항계수 C_W와 형상영향계수 k를 읽고 다음과 같이 모형선—실선 상관수정계수 ΔC_F를 구한다.

$$\Delta C_F=C_{TS}-C_{FS}\cdot(1+k)-C_W \tag{35}$$

4.2. 模型船—實船 相關關係

실선의 프로펠러 단독곡선을 추정함에 있어서 60*A* 선박의 경우에는 모형 프로펠러단독곡선에 식(2)~(7)의 방법으로 척도효과를 고려하여 수정한 것을 사용하였고 프로펠러가 모형과는 다른 60*B*, 60*C* 선박과 60*D*, 60*E* 선박의 경우엔 MAU Series Chart에서 60*A*船舶과의 차이를 각각 찾아서 60*A*船舶의 시험결과를 기준하여 각각 더해 주었다.

Tables 6.a와 6.b는 60*A*船舶의 시운전 해석결과를 보여주고 있다.

Fig. 7은 실선시운전 결과에서 공기저항(바람 저항 포함)으로 인한 영향을 빼준 眞空상태에서의 전달마력을 각 선박별로 도시하고있다. 이때 풍향 및 풍속은 Compass Deck 위의 Anemometer(수면으로부터의 높이 : 35m)로 계측한 값이 전체부분에 동일하게 작용한다고 가정하였고 조류속도는 알 수 없었으므로 각 부하상태 별로 두개의 속력과 전달마력 등을 각각 평균하여 도시하였다. 여기에는 SRS-KIMM 수조의 1/25 모형시험으로부터 추정한 전달마력과 회전수도 함께 도시되어 있는데 프로펠러가 동일한 60*A*船舶과는 좋은 일치를 보여주고 있다. 여기서 전달마력 값이 회전수 값보다 분산되어있는 것은 그만큼 계측오차가 큰데 기인함을 뜻한다.

Fig. 8은 모형선—실선 상관해석에 모형선의 C_{RM}, t_M, w_M, η_{RM}값으로 SRS-KIMM 수조의 1/25 모형시험 결과를 적용하여 계산된 모형선—실선 相關修계수 C_A를 각 선박별 평균치로 비교하고 있다. 여기에서 직선으로 표시한 $C_A=-0.00005$는 모형시험 결과해석을 위해 사용했던 값으로 60*C*와 60*E* 선박과는 비슷한 값이지만 다른 선박들과는 큰 차이를 보이고 있다. Fig. 9는 같은 방법으로 계산된 伴流修正계수 e_i를 각 선박별 평균치로 비교하고 있다. 이와같이 전달마력과 회전수는 Fig. 7에서 보듯이 정확한데 비해 C_A와 e_h가 각각 정확하지 않은 것은 주로 실선 속력시운전해석에서는 모형시험해석과는 달리 토오크 일치법을 사용하며 이때 사용되는 실선 프로펠러 단독성능곡선은 실험에서 얻은 실제 값이 아니고 추정치이므로 이에 대한 오차라고 생각된다. 한편 속력시운전시 파랑 및 선각표면

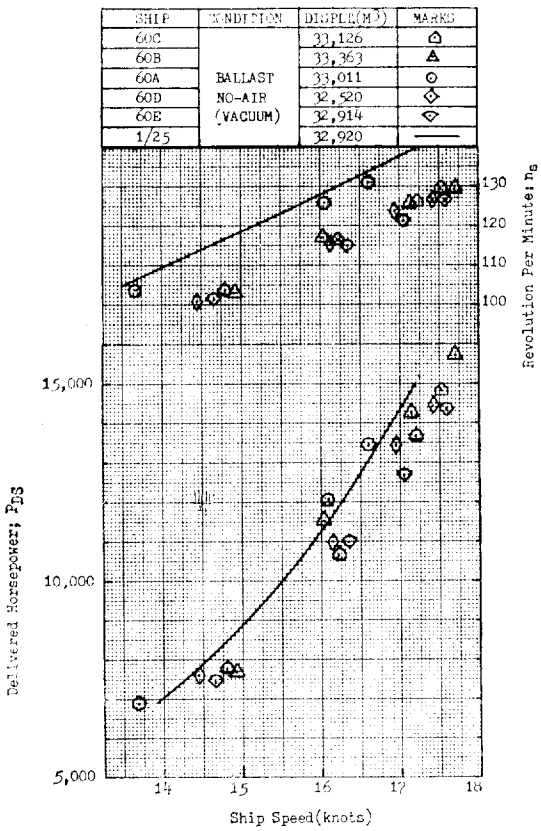

Fig. 7. Speed Trial Analysis Results

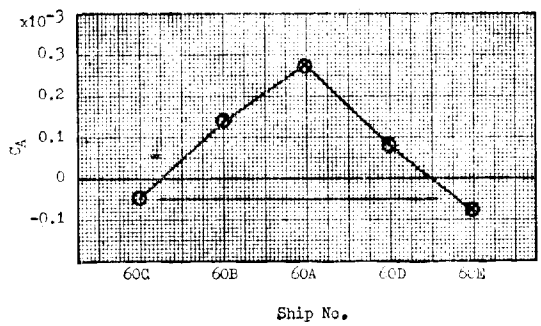

Fig. 8. Correlation Allowance C_A by Speed Trial Results

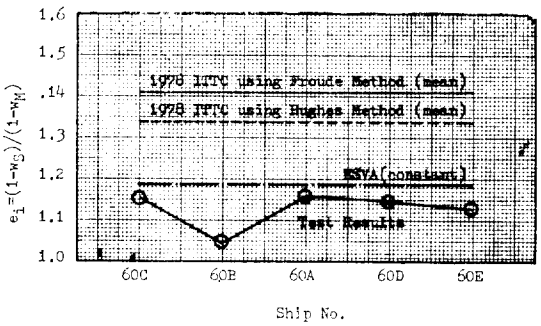

Fig. 9. Wake Correction Factor e_i by Speed Trial Results

조도에 의한 선체저항의 증가와 속력시운전 결과해석 방법의 오차 그리고 속력시운전의 계측오차 등도 포함되어 있다고 볼 수 있다.

5. 後 記

본 연구는 1981년도 과학기술처 출연연구과제로서 수행되었으며 이 과제의 수행을 위해 애쓰신 SRS-KIMM의 여러분께 감사드리고 관련자료를 제공해 주신 現代重工業(株)의 朴承均 常務와 基本設計部 研究開發팀에게 감사를 드린다.

參 考 文 獻

〔1〕 梁承一, 李昶燮, 金恩燦 外, "實船의 推進性能解析技法에 關한 研究", 韓國機械研究所 研究報告書 UCN 105-179·D, 1982年 2月.

〔2〕 C.W. Prohaska, "A Simple Method for the Evaluation of the Form Factor and the Low Speed Wave Resistance", Written Contribution to the Resistance Committee Report, 11th ITTC, Tokyo, 1966.

〔3〕 K. Tamura and K. Taniguchi, "On the New Method of Correlation for Wind Resistance Relating to the Analysis of Speed Trial Results", Appendix 11 to the Performance Session, 11th ITTC, Tokyo, 1966.

〔4〕 "Report of the Performance Committee", Proceedings of 15th ITTC, Hague, 1978.

〔5〕 "Report of the Performance Committee", Proceedings of 16th ITTC, Leningrad, 1981.

〔6〕 A. Jonk and J. van de Beek, "Investigations into the Effect of Model Scale on the Performance of Two Geosim Ship Models, Part 1: Flow Behaviour and Performance in Colm Water", Netherland Maritime Institute, Monograph M19, 1977.

〔7〕 梁承一, 金恩燦 外, "深水大型水槽에서의 模型試驗을 위한 豫備調査에 關한 研究", 韓國船舶研究所 研究報告書 UCE 31-45,78, 1978년 4월.

〔8〕 田村欣也, "實船과 模型船의 相關", 肥大船의 推進性能에 관한 Symposium, 日本造船學會, 1975.