
 論 文

大韓造船學會誌
 第26卷 第4號 1989年 12月
 Journal of the Society of
 Naval Architects of Korea
 Vol. 26, No. 4, December 1989

통계해석과 이론식을 이용한 저항추진성능 추정

김 은 찬*, 홍 성 완**, 양 승 일*

The Prediction of Ship's Powering Performance Using Statistical Analysis and Theoretical Formulation

by

Eun-Chan Kim*, Sung-Wan Hong** and Seung-Il Yang*

Abstract

This paper describes the method of statistical analysis and its programs for predicting the ship's powering performance. The equation for the wavemaking resistance coefficient is derived as the sectional area coefficients by using the wavemaking resistance theory and its regression coefficients are determined from the regression analysis of the model test results. The equations for the form factor, wake fraction and thrust deduction fraction are derived by purely regression analysis of the principal dimensions, sectional area coefficients and model test results. The statistical analyses are performed using the various descriptive statistic and stepwise regression analysis techniques. The powering performance prognosis program is developed to cover the prediction of resistance coefficients, propulsive coefficients, propeller open-water efficiency and various scale effect corrections.

요 약

선박의 추진성능 추정을 위한 통계해석 기법을 연구하고 전산 프로그램을 만들었다. 조파저항계수의 추정식은 조파저항이론을 이용하여 스테이션 별 횡단면적계수의 곱으로 표현되도록 도출해 내었고, 이에 대한 회귀계수는 모형시험 결과를 회귀분석하여 얻었다. 형상계수, 반류비 및 추력감소율의 추정식들은 선체 주요치수, 스테이션 별 횡단면적계수 및 모형시험 결과들을 순수하게 회귀분석하여 얻었다. 통계해석은 여러가지 기술통계와 단계별 회귀분석 기법을 적절하게 이용하여 수행하였다. 추진성능 추정 프로그램은 저항계수, 추진계수, 프로펠러 단독효율 및 각종 척도효과 등을 모두 쉽게 수용할 수 있도록 다양하면서도 간결하게 만들었다.

본 논문은 1989년도 대한조선학회 춘계연구발표회에서 발표된 논문임
 접수일자 : 1989년 5월 1일, 재접수일자 : 1989년 8월 4일

* 정회원, 한국기계연구소 대덕선박분소

** 정회원, 인하대학교 공대 선박해양공학과

기호(Nomenclature)

Symbol	C.Symbol	Description
<i>B</i>	<i>B</i>	Breadth of ship
BAR	BAR	Bulb area ratio based on midship section area
BBR	BBR	Bulb breadth ratio based on ship breadth
BHR	BHR	Bulb height ratio based on draft at F.P.
BLR	BLR	Bulb length ratio based on L_{pp}
B_p	BP	Taylor's propeller coefficient based on delivered horsepower
C_B	CB	Block coefficient
C_M	CM	Midship section coefficient
C_W	CW	Wave-making resistance coefficient
D_{ia}	DP	Diameter of a propeller
EAR	EAR	Expended area ratio
F_n	FN	Froude number
f_i	FI	Sectional area coeff. at <i>i</i> station based on midship section
H_{ij}		Regression coefficient
K_0		Wave number
<i>k</i>	C3	Form factor
<i>L</i>	<i>L</i>	Ship length in general
L_{cb}	LCB	Center of buoyancy from mid-ship; Fwd. is positive
L_{pp}	LPP	Length between perpendiculars
<i>N</i>	<i>N</i>	Propeller revolution
P_E	PE	Effective Power
P_D	PD	Delivered Power
P/D	PR	Propeller pitch ratio in general
<i>S</i>	<i>S</i>	Wetted surface area of a ship
SBC	SBC	Stern breadth ratio at 0.5/10 station and propeller shaft position based on ship breadth
SB07	SB07	Stern breadth ratio at 0.5/10 station and propeller upper 0.7R position based on ship breadth
<i>T</i>	<i>T</i>	Draft in general
<i>t</i>	THDF	Thrust deduction fraction
<i>w</i>	WFTM	Taylor's wake fraction in model

δ	DELTA	Taylor's advance coefficient
η_0	ETAO	Propeller open-water efficiency
η_R	ETAR	Relative rotative efficiency
∇	DISV	Displacement volume

1. 서 언

저항추진성능을 보다 정확하게 추정하는 것은 훌륭한 선박을 설계하기 위한 기본 요건중의 하나이다. 저항추진성능을 추정하는 데에는 모형시험에 의한 방법, 이론계산에 의한 방법, 통계해석에 의한 방법이 있다. 모형시험에 의한 방법은 아주 정확하다는 장점이 있는 반면 비용과 시간이 많이 든다는 단점이 있다. 이론계산에 의한 방법은 논리정연하며 대개 비용이 적게 들지만, 아직 정확한 추정은 못하고 정성적 추정만이 가능하다. 통계해석에 의한 방법은 비록 물리적 의미가 약하기는 하나 어느정도까지는 정확하게 추정할 수 있으며, 비용과 시간도 적게 든다. 초기설계 단계에서는 저항추진성능의 추정 정확도가 다소 미흡하더라도 신속하고도 경제적으로 추정해 줄 수 있는 시스템이 필요하며, 따라서 이때 통계해석에 의한 방법을 대부분 쓰게 된다.

저항추진성능을 통계해석에 의해 추정하는 방법은 선진조선국에서 오래전부터 사용되어 왔는데, 그 예로서 BSRA Series[1], Series 60 [2], Holtrop[3]등을 들 수 있다. 국내에서는 서정천, 양승일[4]이 Series 60, Taylor Series, Series 64, BSRA Series의 저항추진회귀식을 전산화하였고, 이영길[5]이 Tsuchiya와 Kobayashi의 소형어선 저항추진 회귀식을 전산화한 바 있다. 조파저항 이론을 통계해석에 적용하는 것은 1975년도에 Tagano[6]로부터 시작되었다. Tagano는 Michell의 얇은배 이론으로부터 선체주요치수와 횡단면적계수들의 곱으로 표시되는 조파저항계수 방정식을 유도한 후, 회귀분석하였다. 같은 방법으로 1983년도에 Lin[7]이, 1984년도에 Mishima[8]도 조파저항을 추정하였다. 국내에서는 1987년도에 홍성완등[9]이 유사한 방법으로 조파저항을 추정한 바 있다.

추진계수를 포함한 종합적인 통계추정 프로그램이 국내에서 개발된 것은 아직 없었으며, 국내 조선업체들은 외국으로부터 도입한 기본설계 시스템중에 단편적으로 삽입된 것을 활용하거나, 외국에서 발표된 도표나 경험식등을 전산화하여 활용하고 있다.

본 연구에서는 저항추진성능을 통계해석에 의한 방법으로 추정하는 시스템을 연구, 개발하였다. 조파

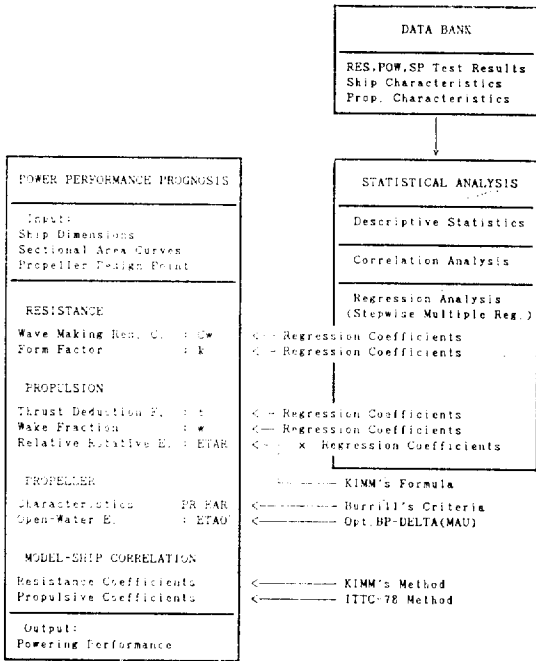


Fig. 1 Fundamental conception of the powering performance prognosis system with statistical analysis

저항계수 추정식은 조파저항 이론으로부터 선형제원과 횡단면적계수의 곱으로 표시되는 방정식을 유도한 후, 회귀분석하여 얻었다. 형상계수, 추력감소율, 반류비는 선형제원들을 순수하게 회귀분석하여 얻었다. 프로펠러 단독효율은 MAU도표로부터 최고 효율을 갖는 $B_p-\delta$, B_p-P/D , $B_p-\eta_0$ 곡선을 만들고, Burrill의 캐비테이션 허용기준을 적용하여 계산하도록 하였다. 한편 합리적인 변수선정과 통계해석을 위하여 기술통계(Descriptive Statistic) 기법과 단계별 회귀(Stepwise Regression) 분석을 적절히 활용하였다. 통계해석에 활용한 자료는 $0.77 \leq CB \leq 0.85$, $0.12 \leq F_n \leq 0.18$ 범위로서 모두 144척이다.

본 통계추정 시스템의 흐름을 보면 Fig. 1과 같다. 먼저, 저항시험, 프로펠러 단독시험, 저항추진시험 결과를 이용하여 모형선의 저항추진계수를 계산하고, 선형제원들과 함께 data bank를 구축한다. 두번째로, 기술통계 결과를 보아가며 선형자료의 특이 분포점을 걸러내고 상관분석을 통해 독립변수의 성격을 조사한다. 그리고, 각각의 계수들(반류비, 추력감소율, 형상계수 및 속도별 조파저항계수)에 대해 상관분석 결과로부터 선정된 독립변수로 회귀분석을 하거나, 단계

별 회귀분석을 통해 최적의 독립변수 group을 선정해 나가며 회귀분석을 하거나 하여 회귀계수를 구한다. 다음으로, 회귀계수를 이용한 저항추진계수추정 sub 프로그램을 만들어 성능추정 프로그램에 추가하도록 하였다. 이 프로그램에서는 주어진 선형에 대한 저항추진계수 계산, 프로펠러 단독효율 계산, 척도효과 계산등을 통해 실선의 전달동력과 회진수를 계산하도록 하였다.

모든 전산작업은 IBM-AT compatible PC로 수행하였다. 화일관리와 계산능률 향상을 위해, 프로그램별 입력자료는 가능한한 공통의 화일을 사용하도록 하였고, 모든 그래프는 line printer로 출력할 수 있도록 만들었다.

2. 통계해석 프로그램

2.1. 기술통계

일반적으로 자료분석에서 가장 기본적으로 수행하여야 하는 것은 평균, 분산, 표준편차, 표준오차등 자료를 설명하여 주는 통계량을 계산하고, 자료의 성격을 쉽게 판단할 수 있도록 그래프로 표시하는 것이며, 이는 복잡한 통계해석을 하기 이전에 자료를 검사하는데 필수적인 단계라 할 수 있다. 이를 위하여 본 연구에서는 히스토그램, 크로스표, 연속계수표를 만드는 프로그램을 만들었다.

2.2. 상관분석

두 확률변수 x 와 y 간의 상관관계를 알고자 할 때에는 두 변수 x, y 에 대한 확률표본을 취한 후 얻어진 n 개의 데이터 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ 로부터 두 변수간의 선형관계를 상관계수라는 척도를 통하여 찾아보게 된다.

상관계수 r 은 다음과 같이 정의된다[11].

$$r = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx} \cdot S_{yy}}}$$

$$\text{이때, } S_{xx} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

$$S_{yy} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$$

상관계수가 갖는 몇가지 성질을 살펴보면 다음과 같다

(a) r 의 범위는 $-1 \leq r \leq 1$ 이다.

(b) r 의 값은 x 와 y 간의 선형관계를 나타내는 척도이다. 완전한 선형관계가 존재하면 $r = \pm 1$ 이다.

(c) r^2 은 y 의 변동 $\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$ 중에서 최소자승법에 의해 얻어지는 직선회귀의 변동이 차지하는 비율을 의미한다.

(d) 만약 x 가 $ax+b$ 로 바뀌고 y 가 $cy+d$ 로 바뀌어도 a 와 c 의 부호가 같으면 r 의 값에는 변함이 없다.

본 연구에서 사용한 상관분석 프로그램은 박성현등 [10]에 실린 프로그램을 보완하여 만들었다.

2.3. 회귀분석

변수들 간의 함수관계를 측정된 데이터를 통하여 규명해 가는 통계적인 분석방법을 회귀분석이라고 한다. 본 연구에서는 변수의 성격과 효율적 계산을 고려하여 중회귀 모형을 선정하였다. 중회귀분석은 독립변수가 2개 이상이고, 종속변수와의 관계를 1차함수로 가정하는 경우이다.

본 연구에서 사용한 중회귀분석 프로그램은 박성현등 [10]에 실린 프로그램을 보완하여 만들었다.

2.4. 단계별 회귀분석

중회귀분석에서 독립변수가 과다하게 많거나, 또는 독립변수들간에 상관관계가 크게 존재하리라고 예상되는 경우에는 모든 독립변수를 포함시키지 말고 중요하다고 판단되는 일부의 독립변수들만을 모형에 포함시켜야 한다. 변수를 선택해 가며 회귀분석을 하는 계산 절차로 알려진 방법 가운데 본 연구에서는 단계별 회귀를 택하였다[11].

본 연구에서 사용한 단계별 회귀분석 프로그램은 박성현의 [10]에 실린 프로그램을 보완하여 만들었다.

출력으로는 모든 변수의 평균과 표준편차, 상관행렬, 선택된 변수번호, 선택된 변수가 회귀방정식에 추가됨으로서 감소되는 자승합, 감소된 자승합이 총변동 중에서 차지하는 비율, 이번 단계까지 감소된 누적 자승합, 누적자승합이 총변동 중에서 차지하는 비율, 중상관계수, F -검정통계량, 추정치의 표준오차, t -검정 통계량, 회귀계수 등이 구해진다.

3. 통계해석 자료

3.1. 자료의 범위

본 연구에서 사용한 자료는 모두 144척으로 full load 상태의 것만을 사용하였다. 이 가운데에서 한국기계연구소 모형시험자료는 19척, 국내조선소 소장자료는 23척이고, 나머지 102척은 일본의 '선박' 잡지에 1965년부터 1974년 사이에 게재된 것이다. 이는 방형 비척계수 범위를 $0.77 \leq C_b \leq 0.85$, 속도범위를 $0.12 \leq$

$F_n \leq 0.18$ 로 제한하고 스테이션별 횡단면적 계수와 선수벌브 제원등에서 유난히 크거나 작은 선형들은 제외한 것이다. 형상계수의 계산에서 모형선의 길이가 서로 다른데 기인하는 Reynold 수의 차이는 고려하지 않았다.

3.2. 모형시험 결과의 자료화

먼저 각종 모형시험 결과와 선형자료의 초기 데이터를 김은찬, 양승일 [12]의 방식으로 정리하였다. 단, SB 07, SBC 그리고, 횡단면적 계수 21개를 추가하였다. 다음으로, 여러개의 초기데이터로부터 저항추진계수를 통일하고 형상계수를 계산하며, 필요한 자료만을 선택하여 하나의 통합 데이터를 만들었다.

마지막으로, 통합 데이터로부터 선형계수와 속도의 범위를 지정하고, 해석하고자 하는 변수로 환산하여 최종 데이터를 만들었다. 최종 데이터는 종속변수의 종류에 따라 일반계수, 횡단면적계수의 곱, 자승변환 및 자승근변환 등으로 따로 만들었다.

3.3. 자료분석 및 선정

표본자료들의 성격을 파악하고 오차점을 찾아 자료의 신뢰도를 높여주기 위해 Fig. 2와 같은 히스토그램을 이용하였다. 최종 데이터에서 모든 변수들에 대해 각각 히스토그램을 그려서 값이 유난히 크거나 작은 값은 검토후 수정하거나 버리고, 비정상적인 분포에 대해서는 의미를 생각해 보았다.

Fig. 2에 최종적으로 선정된 표본자료들에 대하여 대표적인 선형제원 몇개와 저항추진계수들의 분포를 실었다.

4. 저항추진계수와 선형제원들 간의 관계

표본선형들의 상관분석을 통해 저항추진계수와 선형제원들 사이의 상관관계를 검토해 보았다. 일반적으로 알려진 바와 유사한([13], [14]) 경향을 보여주고 있으며, 이를 통해 물리적 의미를 유추해 볼 수 있었다. Table 1은 각종 저항추진계수들에 있어서 선형 및 프로펠러 제원들과의 상관계수를 보여주고 있다. 좌측의 값들은 제원 그대로의 상관계수이고, 우측의 값들은 선형 및 프로펠러 제원에 상용로그를 취한후 상관분석한 것이다. 부분적으로, 상용로그로 변환한 후의 상관계수가 큰 경우도 있으나, 전반적으로는 제원 그대로의 것이 더 상관이 크다고 판단된다.

형상계수 k 에 대한 상관계수들을 검토해 볼 때 L_{cb} , L/B , L/T 등과는 상관이 크며, 잘 알려진 바와 같이 선미부(1.5~4 스테이션)와도 상관이 큰 것으로 나타

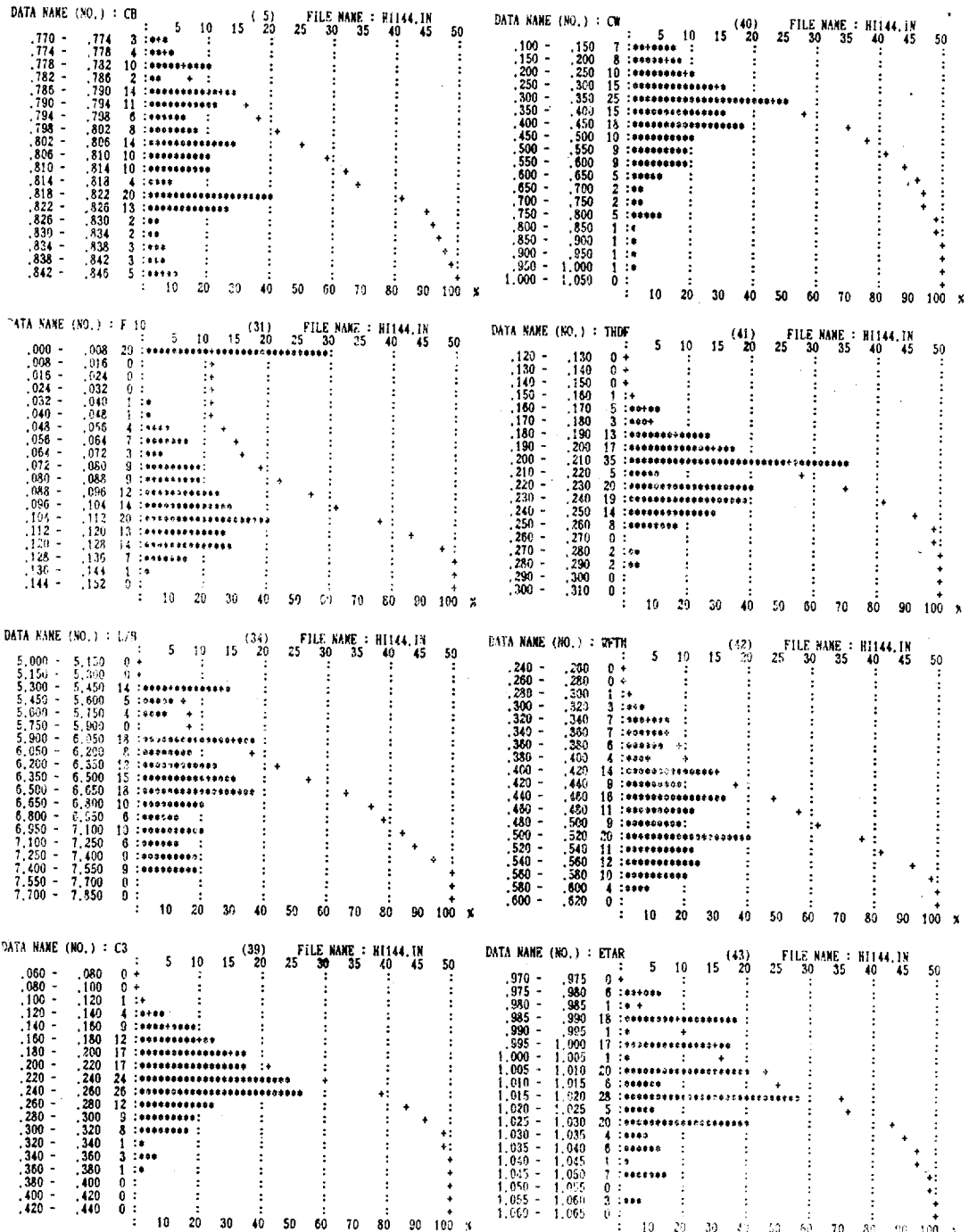


Fig. 2 Histogram of the resistance, propulsive coefficients and hull form parameters

났다. 또한 선수부(9.5, 9.75 스테이션) 횡단면적계수와 와도 상관성이 크며, 이는 선수에서의 wave breaking 이 형상계수에 영향을 미치는 이유로 보이는데, 특이

한 것은 음의 상관관계를 가지고 있다는 것이다.

조파저항계수 C_W 에 대한 상관계수들을 검토해 볼때, C_B 는 물론 선수부(6~9.75 스테이션) 횡단면적계수와

Table 1 Correlation coefficients for the resistance and propulsive coefficients

WITHOUT CONVERTING					CONVERTING BY LOG10(X)							
C3	CW	THDF	WFTM	ETAR	C3	CW	THDF	WFTM	ETAR			
1	-.0389	-.1343	.0285	-.1745	-.0318	BLR	-.0545	-.0530	.0878	.0365	.0080	1
2	-.0770	-.0159	.0807	-.0628	.0684	BBR	-.0533	-.0217	.0820	.0555	.0523	2
3	.0281	-.1803	.0448	-.2480	.0388	BHR	-.0455	-.0376	.0912	.0359	.0202	3
4	-.0973	-.0068	.0875	-.0749	.0209	BAR	-.0541	-.0227	.0960	.0498	.0171	4
5	.0822	.5855	.2629	.4331	.0083	CB	.0859	.5829	.2651	.4356	.0085	5
6	.1224	-.0399	-.0108	-.1342	-.0134	CM	.1223	-.0396	-.0109	-.1339	-.0135	6
7	.0094	.4016	.3299	.6353	-.0819	SB07	-.0186	.2455	.1127	.3642	-.0869	7
8	.1809	.2085	.4603	.5913	-.0518	SBC	.1862	.1053	.4406	.5494	-.0398	8
9	-.1422	.4423	.1508	.6252	.0424	EAR	-.1494	.4533	.1402	.6393	.0302	9
10	-.0935	.1563	.0015	-.2653	.0580	PRNEAN	-.0811	.1452	.0065	-.2693	.0481	10
11	-.0588	.2369	-.0518	.0433	.0956	F 0	.0924	.0050	.0071	.1576	.0284	11
12	-.1522	.2869	.1795	.1858	.0847	F 0.25	-.2118	.2382	.1925	.2308	.0779	12
13	-.0126	.3294	.3659	.3500	.0072	F 0.5	-.0113	.3299	.3637	.3707	-.0021	13
14	.0995	.3155	.4125	.3443	-.0029	F 0.75	.1125	.3136	.4170	.3550	-.0036	14
15	.1938	.2644	.4333	.3208	-.0185	F 1	.2130	.2621	.4372	.3284	-.0101	15
16	.3156	.2331	.3631	.2705	-.0195	F 1.5	.3298	.2280	.3680	.2728	-.0100	16
17	.3768	.1898	.3280	.2111	.0007	F 2	.3847	.1858	.3317	.2111	.0079	17
18	.4104	.1288	.2989	.1710	.0218	F 2.5	.4129	.1266	.3009	.1722	.0250	18
19	.4192	.1159	.2728	.1416	.0376	F 3	.4196	.1153	.2739	.1425	.0386	19
20	.3162	.0572	.1529	.0822	.0747	F 4	.3160	.0571	.1528	.0822	.0746	20
21	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	F 5	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	21
22	-.1443	.3311	-.0345	.4180	-.1038	F 6	-.1443	.3311	-.0345	.4179	-.1038	22
23	-.2026	.4002	-.0447	.4681	-.1542	F 7	-.2027	.4002	-.0448	.4678	-.1543	23
24	-.0785	.4757	.0613	.5271	-.1238	F 7.5	-.0792	.4751	.0603	.5265	-.1243	24
25	-.0772	.6101	.1202	.4949	-.0809	F 8	-.0777	.6064	.1183	.4962	-.0831	25
26	-.1015	.6844	.0843	.4612	-.0419	F 8.5	-.0997	.6738	.0852	.4667	-.0459	26
27	-.1495	.6859	.0674	.4154	.0088	F 9	-.1445	.6703	.0721	.4268	.0008	27
28	-.1898	.6452	.0474	.3768	.0270	F 9.25	-.1819	.6259	.0535	.3864	.0294	28
29	-.2307	.5609	.0445	.2898	.0428	F 9.5	-.2202	.5343	.0550	.2974	.0384	29
30	-.2389	.3714	.0240	.1392	.0546	F 9.75	-.2193	.3275	.0292	.1423	.0497	30
31	-.0973	-.0068	.0875	-.0749	.0209	F 10	-.0541	-.0227	.0960	.0498	.0171	31
32	-.4019	.3321	-.2309	.1175	.0024	LCR/LPP						
33	.3337	-.1532	-.1042	-.2916	.0714	DIS/LPP**3	.3582	-.1552	-.1385	-.2784	.0656	33
34	-.2582	.1333	.1684	.2554	-.0363	LPP/B	-.2520	.1465	.1589	.2802	-.0452	34
35	-.0772	.1351	-.0207	.0355	-.0450	B/TNEAN	-.0780	.1364	-.0115	.0540	-.0433	35
36	-.3396	.2890	.1654	.3343	-.0905	LPP/TNEAN	.3299	.2811	.1479	.3342	-.0879	36
37	.0535	-.3942	.0045	-.5041	-.0304	DP/TA	.0372	-.3729	-.0088	-.4535	-.0333	37
38	-.1857	.3795	-.0979	.3112	-.0571	SB07-SBC						
39	1.0000	-.1602	-.0480	.1790	-.0831	C3						
40	-.1602	1.0000	.0085	.3896	.0792	CW						
41	-.0480	.0085	1.0000	.2801	.6279	THDF						
42	.1790	.3896	.2801	1.0000	-.1126	WFTM						
43	-.0831	.3792	.6279	-.1126	1.0000	ETAR						

도 깊은 상관성이 있으며, 선미부(0.5~0.75 스테이션) 와도 상관성이 큰 것으로 나타났다. 프로펠러 제원들과 상관성이 큰 것은 간접적인 것으로 별 의미가 없다고 판단된다.

추력감소율 t 는 선미부(0.5~3스테이션)와 깊은 상관관계가 있으며 C_B , L_{cs} 와도 상관성이 크다. 반류비 w 와도 상관성이 있긴 하나 그다지 크지는 않았다. 프로펠러의 제원들과는 거의 상관성이 없었다.

반류비 w 와 상관성이 큰 변수는 선미부(0.5~1 스테이션), 선수부(6~9.25 스테이션) 횡단면적계수와 C_B , L/T 등이 있으며, 프로펠러 제원들과도 깊은 상관성이 있었다. 그러나 프로펠러 제원과 상관성이 큰 것이 직접적 영향인자, 아니면 간접적인 영향인자는 이기서는 알 수 없었다.

상대회전효율 η_R 은 모든 변수들에 대해 거의 상관성이 없었으며 프로펠러 제원 및 다른 추진계수들과도 거의 무관한 것으로 나타났다.

5. 저항추진계수 통계해석

5.1. 조파저항계수

조파저항계수 C_W 의 추정을 위한 회귀모델은,

(a) 선정된 모든 표본자료 144척에 대한 모든 선형 제원으로 단계별 회귀분석을 한 경우

(b) (a)에 의해 추정된 회귀식으로 추정된 값의 잔차가 유난히 큰 2점을 제외한 142척에 대한 모든 선형 제원으로 단계별 회귀분석을 한 경우

(c) 표본자료 142척에 대해 횡단면적계수들만으로

Table 2 Comparison of the regression analysis results for the wave making resistance coefficients C_w between the various dependent variables

FILE NAME : RE144C2.IN (HULL FORM PARAMETERS AND SECTIONAL AREA COEFF. WITH 144 SHIPS)						
VARIABLE NO.	MEAN	STANDARD DEVIATION	CORRELATION X VS Y	REGRESSION COEFFICIENT	STD. ERROR OF REG. COEF.	COMPUTED T VALUE
27	.7164479E+00	.7432466E-01	.6859216E+00	.1036986E+01	.5100746E+00	.2033008E+01
31	.7882569E-01	.4463521E-01	-.6758643E-02	-.2397381E+01	.4434293E+00	-.5406457E+01
24	.9936472E+00	.1015152E-01	.4757496E+00	-.1024913E+02	.2349709E+01	-.4361872E+01
23	.9989903E+00	.2735632E-02	.4002420E+00	.2111902E+02	.5889987E+01	.3585580E+01
3	.2474687E+00	.1681499E+00	-.1802588E+00	.2640767E+00	.1140634E+00	.2315175E+01
26	.8875826E+00	.5373964E-01	.6844484E+00	.2320707E+01	.8325370E+00	.2801160E+01
14	.3397021E+00	.3907530E-01	.3155423E+00	.6817617E+00	.2764414E+00	.2466207E+01
34	.6451465E+01	.6025568E+00	.1333464E+00	-.5011010E-01	.2168736E-01	-.2310567E+01
DEPENDENT 40	.4057701E+00	.1735575E+00				
INTERCEPT		-.13105E+02				
MULTIPLE CORRELATION		.79382E+00				
STD. ERROR OF ESTIMATE		.10863E+00				
FILE NAME : RE142C2.IN (HULL FORM PARAMETERS AND SECTIONAL AREA COEFF. WITH 142 SHIPS)						
VARIABLE NO.	MEAN	STANDARD DEVIATION	CORRELATION X VS Y	REGRESSION COEFFICIENT	STD. ERROR OF REG. COEF.	COMPUTED T VALUE
26	.8888542E+00	.5302516E-01	.7195988E+00	.5021321E+01	.5998794E+00	.8370552E+01
1	.1353380E-01	.9025495E-02	-.1582899E+00	-.3345488E+01	.1891673E+01	-.1768534E+01
24	.9937915E+00	.1014913E-01	.4919520E+00	-.8522489E+01	.2535323E+01	-.3361501E+01
23	.9990042E+00	.2752404E-02	.4060651E+00	.1317546E+02	.5146720E+01	.2559973E+01
6	.9928915E+00	.2566519E-02	-.5369156E-01	.1190784E+02	.3971610E+01	.2998241E+01
31	.7850070E-01	.4486440E-01	-.1231274E-01	-.1082143E+01	.4038067E+00	-.2679855E+01
25	.9674739E+00	.2843339E-01	.6396648E+00	-.2922765E+01	.1395376E+01	-.2094607E+01
14	.3399401E+00	.3929921E-01	.3218285E+00	.4290979E+00	.2444964E+00	.1755027E+01
DEPENDENT 40	.4039437E+00	.1740907E+00				
INTERCEPT		-.17763E+02				
MULTIPLE CORRELATION		.82946E+00				
STD. ERROR OF ESTIMATE		.10012E+00				
FILE NAME : RE142C3.IN (SECTIONAL AREA COEFF. WITH 142 SHIPS)						
VARIABLE NO.	MEAN	STANDARD DEVIATION	CORRELATION X VS Y	REGRESSION COEFFICIENT	STD. ERROR OF REG. COEF.	COMPUTED T VALUE
26	.8888542E+00	.5302516E-01	.7195988E+00	.2256311E+01	.7674542E+00	.2939994E+01
31	.7850070E-01	.4486440E-01	-.1231274E-01	-.1602495E+01	.2387258E+00	-.6712699E+01
24	.9937915E+00	.1014913E-01	.4919520E+00	-.9566838E+01	.2228610E+01	-.4292737E+01
27	.7181148E+00	.7349180E-01	.7186345E+00	.1199108E+01	.4683970E+00	.2560025E+01
23	.9990042E+00	.2752404E-02	.4060651E+00	.9591038E+01	.5848363E+01	.1639953E+01
14	.3399401E+00	.3929921E-01	.3218285E+00	.3309884E+01	.1286094E+01	.2573594E+01
15	.4667049E+00	.4496565E-01	.2674739E+00	-.1849478E+01	.7760937E+00	-.2383060E+01
13	.2089049E+00	.3163401E-01	.3430853E+00	-.1272770E+01	.8959012E+00	-.1420659E+01
DEPENDENT 40	.4039437E+00	.1740907E+00				
INTERCEPT		-.24070E+01				
MULTIPLE CORRELATION		.82700E+00				
STD. ERROR OF ESTIMATE		.10077E+00				
FILE NAME : RE142C4.IN (HULL FORM PARAMETERS WITH 142 SHIPS)						
VARIABLE NO.	MEAN	STANDARD DEVIATION	CORRELATION X VS Y	REGRESSION COEFFICIENT	STD. ERROR OF REG. COEF.	COMPUTED T VALUE
5	.8062831E+00	.1815923E-01	.5983124E+00	.6109193E+01	.6596967E+00	.9260609E+01
32	.2246716E-01	.5994636E-02	.3457497E+00	-.1027971E+02	.1917728E+01	-.5360356E+01
1	.1353380E-01	.9025495E-02	-.1582899E+00	-.4953920E+01	.2067053E+01	-.2396610E+01
34	.6457824E+01	.6043946E+00	.1424172E+00	-.6790557E-01	.3631639E-01	-.1869833E+01
2	.1316768E+00	.7744425E-01	-.1888100E-01	-.4465360E+00	.2451297E+00	-.1820889E+01
38	.2355634E-01	.3025845E-01	.3974504E+00	.6661667E+00	.4028366E+00	.1653690E+01
33	.7288817E-02	.1224941E-02	-.1575579E+00	-.1404261E+02	.1644475E+02	-.8539266E+00
10	.7736521E+00	.7865204E-01	.1719412E+00	.1060728E+00	.1386300E+00	.7795774E+00
DEPENDENT 40	.4039437E+00	.1740907E+00				
INTERCEPT		.41853E+01				
MULTIPLE CORRELATION		.76450E+00				
STD. ERROR OF ESTIMATE		.11555E+00				

Table 3 Regression coefficients of C_w using the product of selected sectional area coefficients in $F_n=0.12, 0.14, 0.16$ and 0.18

VARIABLE	FN=0.12	FN=0.14	FN=0.16	FN=0.18
H11	0.23140E+05	0.49454E+05	0.16115E+06	0.48319E+06
H12	0.77862E+04	0.53383E+04	0.32113E+04	-0.63582E+05
H13	-0.56956E+05	-0.21087E+06	-0.56933E+06	-0.11915E+07
H14	-0.30890E+05	-0.56320E+05	-0.19136E+06	-0.63794E+06
H15	0.35858E+05	0.15570E+06	0.40323E+06	0.75066E+06
H16	0.18898E+05	0.84992E+05	0.21900E+06	0.53609E+06
H17	-0.11095E+05	-0.34307E+05	-0.12120E+06	-0.34648E+06
H18	-0.10359E+04	-0.32740E+05	-0.21331E+05	0.59477E+05
H22	-0.57880E+03	-0.14227E+04	-0.14096E+04	-0.16880E+05
H23	-0.16446E+05	-0.37828E+05	-0.65360E+05	-0.14833E+06
H24	-0.28625E+04	0.14839E+04	0.36209E+04	0.56974E+05
H25	0.12063E+05	0.31987E+05	0.56804E+05	0.14900E+06
H26	0.14427E+05	0.16854E+05	0.53218E+04	-0.26626E+05
H27	-0.11921E+05	-0.18666E+05	-0.20237E+05	-0.80894E+04
H28	0.64902E+03	0.14385E+05	0.49344E+05	0.12978E+06
H33	-0.50162E+04	0.10248E+05	-0.14287E+06	-0.17320E+07
H34	0.45724E+05	0.12663E+06	0.32503E+06	0.99853E+06
H35	0.33234E+05	0.85417E+05	0.55203E+06	0.36119E+07
H36	0.27607E+05	-0.45582E+05	0.46739E+04	0.34278E+06
H37	-0.37254E+05	-0.23592E+05	0.25974E+05	0.70431E+06
H38	0.20105E+05	0.92042E+05	-0.43294E+05	-0.12510E+07
H44	0.97539E+04	0.17287E+05	0.69580E+05	0.24774E+06
H45	-0.31149E+05	-0.96355E+05	-0.23929E+06	-0.73315E+06
H46	-0.32863E+05	-0.86259E+05	-0.19407E+06	-0.52153E+06
H47	0.19685E+05	0.40450E+05	0.97571E+05	0.22231E+06
H48	0.76361E+04	0.30906E+05	0.39370E+05	0.15326E+06
H55	-0.23688E+05	-0.80679E+05	-0.36346E+06	-0.17815E+07
H56	-0.30107E+05	0.19498E+05	-0.80396E+05	-0.46393E+06
H57	0.31799E+05	0.18201E+05	-0.40157E+04	-0.55844E+06
H58	-0.11762E+05	-0.59029E+05	0.83073E+05	0.11423E+07
H66	-0.95893E+04	-0.29238E+05	-0.11278E+06	-0.50026E+06
H67	0.40248E+05	0.71674E+05	0.16554E+06	0.41516E+06
H68	-0.19595E+05	-0.14305E+05	0.84768E+05	0.76697E+06
H77	-0.22131E+04	0.10286E+05	0.30292E+05	0.21485E+05
H78	-0.48071E+05	-0.12681E+06	-0.32535E+06	-0.74121E+06
H88	0.40807E+05	0.93792E+05	0.17894E+06	0.39376E+05
INTERCEPT	0.69683E+03	0.13599E+04	0.15983E+04	-0.15676E+03
MULTIPLE CORRELATION	0.88301E+00	0.91352E+00	0.92465E+00	0.91687E+00

단계별 회귀분석한 경우

(d) 표본자료 142척에 대해 횡단면적계수를 제외한 선형치수들만으로 단계별 회귀분석한 경우

(e) (c)에 의해 얻은 변수 8개를 홍성완의[9]의 횡단면적계수들의 곱으로 표시되는 이론추정회귀식에 적용하는 경우

의 다섯가지로 변수 8개씩 위하도록 하여 수행, 비교하여 보았다.

위의 (e)에서 활용한 식은 다음과 같다.

$$C_w = \frac{K_0^2 \cdot C_M^2 \cdot B}{\pi \cdot S} \cdot (1 - e^{-K_1 r})^2 \cdot \sum_{i=1}^8 \sum_{j=i}^8 H_{ij} f_i f_j$$

이때 f_i 는 순서대로, 8.5, 10, 7.5, 9, 7, 0.75, 1,

0.5 스테이션에서의 횡단면적 계수.

(a)~(d)의 계산은 $F_n=0.18$ 에서 수행하였으며 그 결과를 Table 2에 실었고, (e)의 계산은 $F_n=0.12, 0.14, 0.16, 0.18$ 에서 수행하였으며 각각의 회귀분석 결과를 Table 3에 실었다.

표본자료가 144척에서 142척으로 바뀌면서 중상관계수 r 이 0.794에서 0.829로 증가하였으며, 142척에 대해 횡단면적계수만으로 단계별 회귀분석을 한 결과는 $r=0.827$ 로 거의 변화가 없는 반면, 선형치수들만으로 단계별 회귀분석을 한 결과는 $r=0.765$ 로 많이 감소했음을 알 수 있었다. 한편 Michell의 얇은베이론으로부터 유도된 횡단면적 계수들의 곱으로 표시되는 회

Table 4 Comparison of the descriptive statistics for the form factor k between the various converting of independent variables

DATA FILE ID. --- REG144K2 (WITHOUT CONVERTING)					
MEAN :	1.0010	VARIANCE:	.0214	STD. DEV.:	.1463
STD. ERR.:	.0122	SKENNESS:	.0423	KURTOSIS:	.0798
MINIMUM :	.5295	MAXIMUM :	1.4266	RANGE :	.8971
P1 :	.5295	P5 :	.7553	P10 :	.8050
P25 :	.9031	P50 :	.9803	P75 :	1.1074
P90 :	1.1806	P95 :	1.2310	P99 :	1.3243

DATA FILE ID. --- REG144K3 (CONVERTING BY LOG10(X))					
MEAN :	1.0110	VARIANCE:	.0219	STD. DEV.:	.1481
STD. ERR.:	.0123	SKENNESS:	.1039	KURTOSIS:	-.1584
MINIMUM :	.5809	MAXIMUM :	1.4147	RANGE :	.8339
P1 :	.5809	P5 :	.7734	P10 :	.8168
P25 :	.9106	P50 :	1.0110	P75 :	1.1080
P90 :	1.1952	P95 :	1.2521	P99 :	1.3105

DATA FILE ID. --- REG144K4 (CONVERTING BY SQR(X))					
MEAN :	1.0055	VARIANCE:	.0213	STD. DEV.:	.1460
STD. ERR.:	.0122	SKENNESS:	.0807	KURTOSIS:	.1085
MINIMUM :	.5599	MAXIMUM :	1.4296	RANGE :	.8698
P1 :	.5599	P5 :	.7715	P10 :	.8222
P25 :	.9184	P50 :	.9796	P75 :	1.0992
P90 :	1.1898	P95 :	1.2410	P99 :	1.3466

DATA FILE ID. --- REG144K5 (CONVERTING BY (X)**2)					
MEAN :	1.1726	VARIANCE:	4.8466	STD. DEV.:	2.2015
STD. ERR.:	.1835	SKENNESS:	11.6731	KURTOSIS:	135.8196
MINIMUM :	.4721	MAXIMUM :	27.3496	RANGE :	26.8775
P1 :	.4721	P5 :	.7561	P10 :	.8061
P25 :	.8926	P50 :	.9845	P75 :	1.0829
P90 :	1.1641	P95 :	1.2394	P99 :	1.3372

귀방정식의 경우는 $r=0.917$ 로서 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

5.2. 형상계수

형상계수 k 의 추정을 위한 회귀모델은

- (a) 종속변수 k 를 그대로 써서 단계별 회귀분석한 경우
- (b) 종속변수 k 에 상용로그를 취하여 단계별 회귀분석한 경우
- (c) 종속변수 k 에 자승근을 하여 단계별 회귀분석한 경우
- (d) 종속변수 k 에 자승을 하여 단계별 회귀분석한 경우

의 네가지로 수행하여 비교하여 보았다. Table 4는 이렇게 얻은 회귀식으로부터 구한 k 의 진차들에 대한 기술통계량들을 비교하고 있다. 이들을 비교해 볼때 자승으로 변환하는 경우 외에는 모두 비슷한 정도를 보이고 있으며, 음의 값을 자승근 한다면가 음의 값에 로그를 취하는 등 오차발생 요인등을 생각할 때 종속변수를 변환않고 그대로 쓰는 것이 가장 적절하다고 보여진다.

종속변수를 그대로 썼을 경우의 회귀분석 결과를

Table 5에 함께 실었고, 이때의 표본값과 추정값, 표본값과 진차, 표본값과 추정미, 추정값과 추정미의 분포를 Fig. 3에서 보여주고 있다.

5.3. 반류비

반류비 w 의 추정을 위한 회귀모델은 선정된 표본자료 144척에 대해 모든 선형제원을 이용한 단계별 회귀분석을 통하여 얻었다. 회귀분석 결과를 Table 5에 함께 실었으며 중상관계수는 $r=0.884$ 로서 좋은 일치를 보이고 있다. 이때 프로펠러 제원은 제외하였는데, 초기계획 단계에서 프로펠러 제원을 모르기도 하고, 자료의 성격이 프로펠러 차이에 따른 추진계수 변화를 보기에는 미흡하다고 판단하였기 때문이다.

5.4. 추력감소율

추력감소율 t 의 추정을 위한 회귀모델은 선정된 표본자료 144척에 대해 모든 선형제원을 이용한 단계별 회귀분석을 통하여 얻었다. 회귀분석 결과를 Table 5에 함께 실었으며 중상관계수는 $r=0.589$ 로서 그런대로 활용가능하다고 판단되었다.

5.5. 상대회전효율

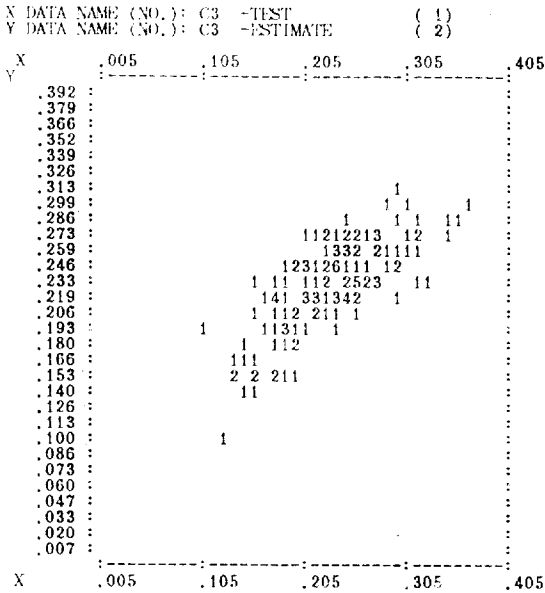
상대회전효율 η_R 의 추정을 위한 회귀모델은 선정된 표본자료 144척에 대해 모든 선형자료를 이용한 단계별 회귀분석을 하여 얻었다. 회귀분석 결과를 Table 5에 함께 실었으며 중상관계수는 $r=0.321$ 로서 활용할 수 없는 식이라 판단된다. 따라서 본 연구의 성능추정 프로그램에서는 상대회전효율을 1.02로 동일하게 넣었다

6. 성능추정프로그램

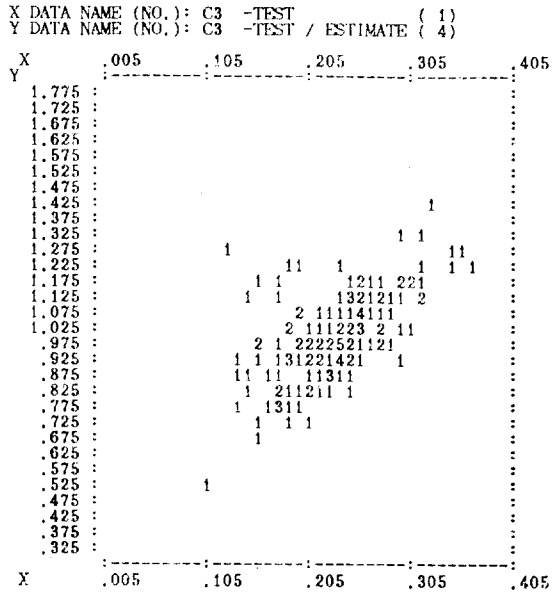
통계해석 결과를 이용하여 실선의 저항추진성능을 추정하는 프로그램을 간결하면서도 다목적으로 쓸 수 있도록 만들었다. 저항추진계수의 추정은 본 연구에서의 방법을 비롯하여 몇가지 방법을 선택할 수 있도록 하였고, 각종 추진계수추정도 본 연구에서의 방법을 비롯하여 몇가지 방법을 선택할 수 있도록 하였다.

프로펠러 단독효율을 추정하기 위해서 최적 $B_p-\delta$ 곡선과 Burrill의 캐비테이션 디용기준을 이용하는 방법을 정립하여 사용하였다. 이 방법은 먼저 MAU 프로펠러의 $B_p-\delta$ 곡선으로부터 최대효율을 갖는 점들을 연결하여 Fig. 4와 같은 최적 $B_p-\delta$, 최적 B_p-P/D , 최적 $B_p-\gamma_0$ 곡선을 난개수, 전개면적비 별로 미리 읽어 놓는다. 설계선형에 대한 저항추진계수와 함께 프로펠러의 직경, 난개수, 설계전달동력(또는 설계속도)이 주어지면 Fig. 5와 같은 과정으로 프로펠러의 제원과 단독효율을 계산하면 된다.

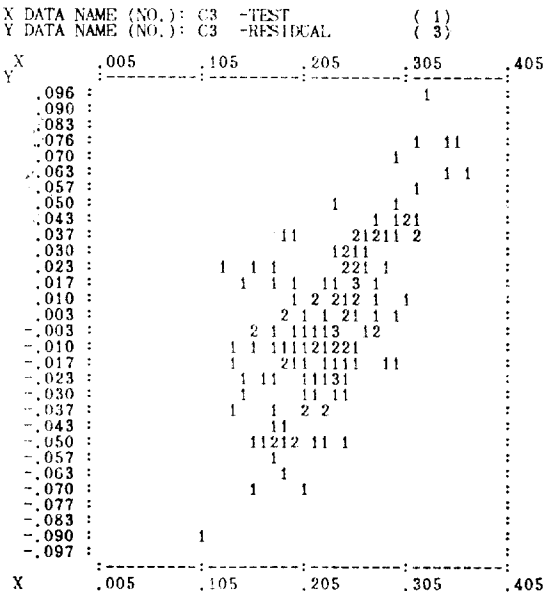
FILE NAME : CR144K2.IN



FILE NAME : CR144K2.IN



FILE NAME : CR144K2.IN



FILE NAME : CR144K2.IN

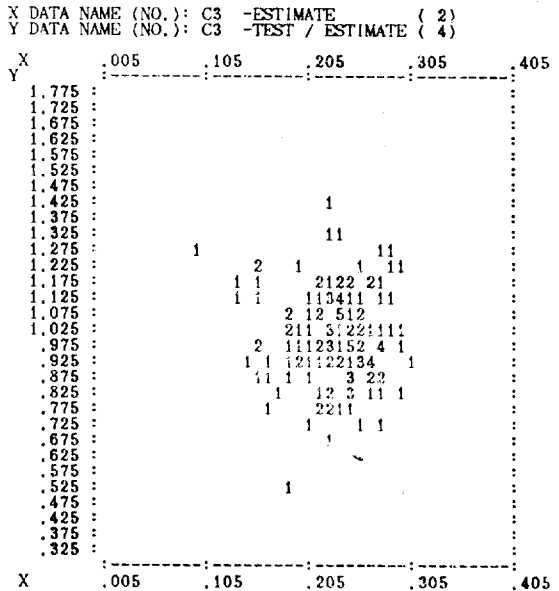


Fig. 3 Cross tabulation for the estimated form factor k

모형선-실선 상관수정계수는 한국기계연구소 대덕선박분소의 표준식에 따랐다. 기타 추진계수의 척도효과, 공기저항, bilge keel 영향 등의 계산은 1978 ITTC 해석법에 따랐다.

Table 6은 그 한 예로서, 표본선형중의 첫번째 선형에 대한 계산결과를 보여주고 있다.

Table 5 Summary of the regression analysis results for the form factor k , wake fraction w , thrust deduction fraction t and relative rotative efficiency η_R

FILE NAME : RE144K2.IN [FORM FACTOR]						
VARIABLE NO.	MEAN	STANDARD DEVIATION	CORRELATION X VS Y	REGRESSION COEFFICIENT	STD. ERROR OF REG. COEF.	COMPUTED T VALUE
19	.9802410E+00	.1810297E-01	.4191714E+00	.1240224E+00	.3824289E+00	.3243019E+00
33	.7294625E-02	.1217336E-02	.3337155E+00	-.1717519E+02	.1147946E+02	-.1496167E+01
30	.2565042E+00	.5216628E-01	-.2389336E+00	-.4592408E+00	.1004387E+00	-.4572348E+01
17	.8417278E+00	.4461720E-01	.3768386E+00	.6057619E+00	.1716003E+00	.3530074E+01
34	.6451465E+01	.6025568E+00	-.2582020E+00	-.1094062E+00	.2796670E-01	-.3912019E+01
26	.8875826E+00	.5373964E-01	.1014845E+00	.2633696E+00	.8359732E-01	.3150455E+01
8	.1327660E+00	.3356215E-01	.1808775E+00	.2806908E+00	.1156129E+00	.2427850E+01
35	.2732222E+01	.2437117E+00	-.7716094E-01	-.8132582E-01	.3713807E-01	-.2189824E+01
DEPENDENT						
39	.2296340E+00	.5083152E-01				
INTERCEPT		.49826E+00				
MULTIPLE CORRELATION		.75170E+00				
STD. ERROR OF ESTIMATE		.34502E-01				

FILE NAME : RE144W2.IN [WAKE FRACTION]						
VARIABLE NO.	MEAN	STANDARD DEVIATION	CORRELATION X VS Y	REGRESSION COEFFICIENT	STD. ERROR OF REG. COEF.	COMPUTED T VALUE
7	.1558188E+00	.4609926E-01	.6353202E+00	.1547482E+01	.1194894E+00	.1295079E+02
12	.6422167E+00	.6275603E-01	-.5040592E+00	-.7713849E+00	.6712721E-01	-.1149139E+02
37	.7831042E-01	.2443416E-01	.1858199E+00	-.9556791E+00	.1855057E+00	-.5151750E+01
38	.2305278E-01	.3034630E-01	.3112125E+00	-.1065146E+01	.1507066E+00	-.7067681E+01
35	.2732222E+01	.2487117E+00	.3654075E-01	.6144479E-02	.3857223E-01	.1592980E+00
30	.2565042E+00	.5216626E-01	-.1392139E+00	-.7932927E-01	.8875605E-01	-.8937900E+00
33	.7294625E-02	.1217336E-02	-.2915602E+00	-.3400756E+02	.1153701E+02	-.2948972E+01
34	.6451465E+01	.6025568E+00	.2554427E+00	-.7018061E-01	.2846202E-01	-.2465763E+01
DEPENDENT						
42	.4626910E+00	.7395473E-01				
INTERCEPT		.14436E+01				
MULTIPLE CORRELATION		.88416E+00				
STD. ERROR OF ESTIMATE		.35559E-01				

FILE NAME : RE144T2.IN [THRUST DEDUCTION FRACTION]						
VARIABLE NO.	MEAN	STANDARD DEVIATION	CORRELATION X VS Y	REGRESSION COEFFICIENT	STD. ERROR OF REG. COEF.	COMPUTED T VALUE
42	.4626910E+00	.7395473E-01	.2801022E+00	.3882988E-01	.3404750E-01	.1140462E+01
8	.1327660E+00	.3356215E-01	.4603001E+00	.1988583E+00	.9553918E-01	.2081432E+01
31	.7882569E-01	.4463521E-01	.8747309E-01	.9755775E-01	.5126126E-01	.1903148E+01
32	.2238678E-01	.5991241E-02	-.2309488E+00	-.6790496E+00	.4291535E+00	-.1582300E+01
22	.9999799E+00	.7625854E-04	-.3449380E-01	-.3963520E+02	.3003618E+02	-.1141958E+01
13	.2084812E+00	.3161564E-01	.3658511E+00	.4243381E-01	.1651378E+00	.2569600E+00
11	.2180417E-01	.1145026E-01	-.5182619E-01	-.1111883E+01	.3504040E+00	-.3173145E+01
12	.7831042E-01	.2448416E-01	.1794759E+00	.5319771E+00	.2399678E+00	.2216869E+01
DEPENDENT						
41	.2126590E+00	.2530565E-01				
INTERCEPT		.39784E+02				
MULTIPLE CORRELATION		.58935E+00				
STD. ERROR OF ESTIMATE		.21041E-01				

FILE NAME : RE144E2.IN [RELATIVE ROTATIVE EFFICIENCY]						
VARIABLE NO.	MEAN	STANDARD DEVIATION	CORRELATION X VS Y	REGRESSION COEFFICIENT	STD. ERROR OF REG. COEF.	COMPUTED T VALUE
23	.9989903E+00	.2735632E-02	-.1542410E+00	-.2321056E+01	.8141854E+00	-.2850771E+01
11	.2180417E-01	.1145026E-01	.9556659E-01	.3088356E+00	.1568224E+00	.1969333E+01
34	.6451465E+01	.6025568E+00	-.3625612E-01	.4123416E-02	.3603870E-02	.1144163E+01
32	.2238678E-01	.5991241E-02	.2391369E-02	.5093545E+00	.3410958E+00	.1493289E+01
20	.9995576E+00	.1436954E-02	.7465439E-01	.1301200E+01	.1167388E+01	.1114625E+01
1	.1377222E-01	.9186098E-02	-.3182865E-01	-.3187472E+00	.3402001E+00	-.9369405E+00
2	.1319729E+00	.7694599E-01	.6837956E-01	.1150812E+00	.5570879E-01	.2065763E+01
31	.7882569E-01	.4463521E-01	.2085400E-01	-.1558305E+00	.1108479E+00	-.1405805E+01
DEPENDENT						
43	.1014891E+01	.1874831E-01				
INTERCEPT		.19897E+01				
MULTIPLE CORRELATION		.32066E+00				
STD. ERROR OF ESTIMATE		.18277E-01				

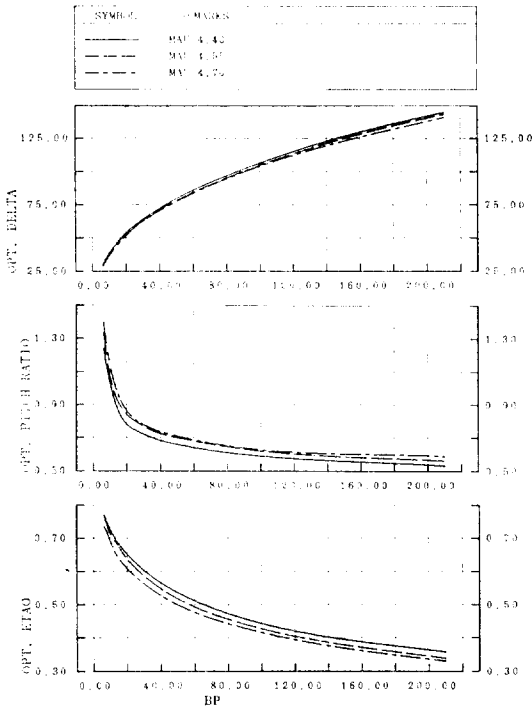


Fig. 4 Optimum B_p - δ , B_p - P/D and B_p - η_0 curves for $Z=4$

7. 결 언

일련의 계산과 검토를 통하여 다음과 같은 연구결과를 얻었다.

(a) 저항추진성능 추정을 위한 통계해석기법을 개발하였다.

(b) 저항추진계수 추정을 위해 표본선형 144척에 대한 회귀분석을 수행하였다.

(c) B_p - δ 도면의 최대효율곡선을 따라 B_p 와 δ , P/D , η_0 사이의 관계를 전산화하고, 이를 이용하여 프로펠러 단독효율을 추정하는 기법을 정립하였다.

(d) 저항추진계수들에 대해 각각 선형 및 프로펠러 계원들과의 관계를 상관분석을 통하여 알아보았으며, 물리적 의미와 일반적으로 일치함을 알 수 있었다.

(e) 조파저항계수 추정을 위한 회귀분석에서는 독립변수를 여러가지로 바꾸어가며 계산하였으며, 이론식에 의한 횡단면적 계수의 값을 사용했을 때가 가장 좋은 일치($r=0.917$)를 보임을 알았다.

(f) 형상계수추정을 위한 회귀분석에서는 종속변수를 여러가지로 변환시켜 가며 계산하여 보았으나, 변환을 않는 것이 가장 유용한 방법이라 판단되었다($r=$

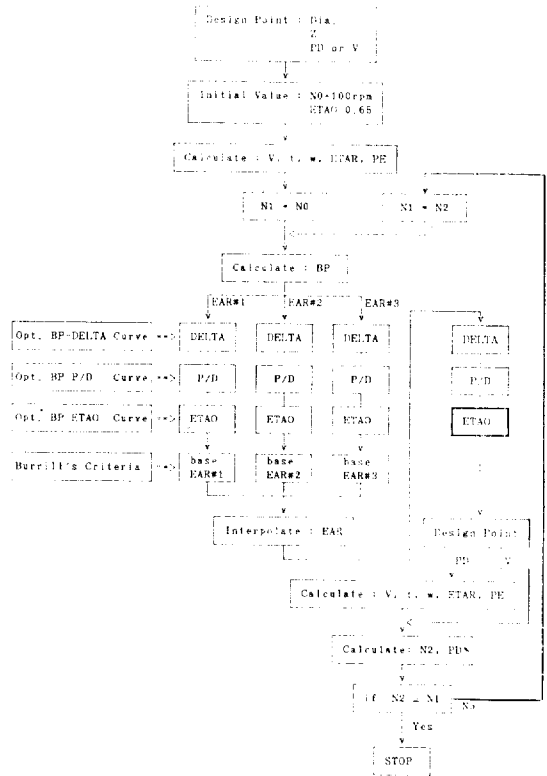


Fig. 5 Flow chart of calculation for the propeller open-water efficiency

0.752).

(g) 회귀분석을 통해 얻은 반류비 추정식은 표본값과 좋은 일치를 보이고 있는 반면 ($r=0.884$), 추력감소를 추정식은 그다지 좋지 않았고 ($r=0.589$), 상대회전효율 추정식은 활용할 수 없는 식($r=0.321$)이라 판단되었다.

참 고 문 헌

[1] Wright, B.D.W., "Estimation of Effective Power and Delivered Power from the Extended and Revised BSRA Methodical Series Data Using a Computer Program", BSRA Technical Memorandum No. 405, 1971.
 [2] Sabit, A.S., "Analysis of the Series 60 Results. Part I. Analysis of Forms and Resistance Results", International Shipbuilding Progress, Vol. 19, 1972.
 [3] Holtrop, J., "A Statistical Re-Analysis of Res-

Table 6 A sample output for the program PN

```

-----
POWERING PERFORMANCE PROGNOSIS
FILE NAME: STS2.EUN                                21-MAR-89
-----
SHIP NAME: M307S01.SB                               LWL (M): 174.220  CB: .7910  BLR: .0000
SCALE : 28.3330  LOAD : FULL LOAD  S (M2): 6407.4  CK: .9900  BBR: .0000
LPP (M):170.000  TP (M): 9.769  SBK (M2): .0  CW: .0000  BHR: .0000
B (M): 26.038  TA (M): 9.769  AT (M2): .0  CP: .7990  BAR: .0000
NOPROP : 1  TMEAN(M): 9.769  DISV(M3): 34211.  LCS(M)1PWS:1 : 3.196

SECTIONAL AREA COEFFICIENTS : F1(X)-A(X)/AM -----
X= 0,0.25,0.5,0.75,1,1.5,2,2.5,3,4,5,6,7,7.5,8,8.5,9,9.25,9.5,9.75,10 STATIONS
.015 .065 .199 .321 .447 .656 .828 .943 .988 1.000 1.000 1.000 1.000
.992 .958 .856 .672 .527 .363 .172 .000

STERN BREADTH RATIO AT .5 ST.: SB070(P.UPPER 0.7R)* .1680  SBC(P.CENTER)* .1420

PROPELLER DIMENSION -----
FILE : MP354  DIA. (M): 6.140  PR070 : .7123  NPB: 4  EAR: .3419

SEA WATER CONDITION -----
TEMP(D.):15.00  DENS.(KG/M3):1025.87  K.VIS.(M2/S):1.1873E-6

PROPELLER DESIGN POINT -----
DELIVERED POWER(PS): 4000.  PROP. INERSON (M): 7.000

-----
SHIP SPEED VK(KNOT): 9.642 10.446 11.250 12.053 12.857 13.660 14.464
FROUDE NUMBER FN : .1200 .1300 .1400 .1500 .1600 .1700 .1800
-----
EFFECTIVE POWER PE(PS): 1193. 1524. 1923. 2400. 2983. 3746. 4756.
DELIVERED POWER PD(PS): 1512. 1930. 2433. 3034. 3776. 4729. 6001.
REVOLUTION N(RPM): 61.87 66.96 72.05 77.14 82.23 87.31 92.39

WAVE RES.C. CKE(E-3): .021 .052 .093 .142 .217 .335 .517
TOTAL RES.C. CTS(E-3): 2.187 2.198 2.220 2.253 2.312 2.415 2.584

PROP. ADVANCED C. JA : .517 .517 .517 .517 .517 .517 .517
THRUST DEDUCTION THDF: .190 .190 .190 .190 .190 .190 .190
M. WAKE FRACTION WETM: .446 .446 .446 .446 .446 .446 .446
S. WAKE FRACTION WETS: .340 .340 .341 .341 .342 .342 .343

HULL EFFICIENCY ETAH: 1.226 1.227 1.228 1.229 1.230 1.231 1.232
RELATIVE ROT.E. ETAR: 1.020 1.020 1.020 1.020 1.020 1.020 1.020
PROPELLER O.W.E. ETAD: .631 .631 .631 .631 .631 .631 .631
QUSI-PROPULS.E. ETAD: .789 .789 .790 .791 .792 .792 .793

ANALYSIS METHOD -----
* MODEL-SHIP CORREL.LINE: 1957-ITTC * WITH AIR RESISTANCE : CA* .001000
* 3-DIMENSIONAL METHOD : C3* .2610 * WITH BILGE KEEL RESISTANCE
* CORREL.ALLOWANCE(3-D): DCF* .000158 * WITH CP-CN CORRECTION: CP* 1.0000
CN* 1.0000

PROGNOSIS FORMULA -----
- RESISTANCE PREDICTION : F2 : REGRESSION A. BY SECT.A. FROM 142 SHIPS
- THRUST DEDUCTION FRACTION : S2 : REGRESSION ANALYSIS FROM 144 SHIPS
- WAKE FRACTION OF MODEL SHIP : S2 : REGRESSION ANALYSIS FROM 144 SHIPS
- RELATIVE ROTATIVE EFFICIENCY : K1 : KIMM
- SCALE EFFECT OF WAKE FRACTION : IT : 1978 ITTC METHOD
- PROPELLER SELECT. AND CHARACT. : K1 : REFORMED MAU BY OPTIMUM BP-DELTA
- PROPELLER CAVITATION CRITERIA : K1 : RURRILL'S CRITERIA
- WETTED SURFACE AREA : IN : SAME AS INPUT DATA
    
```

istance and Propulsion Data”, International Shipbuilding Progress, 1984, 11.

[4] 서경철, 양승일, “Estimation of Effective Horsepower from the Resistance Data of the Standard Series Using a Computer Program”, KIMM Technical Note No. 3-80, 1980.10.

[5] 이영길, “어선의 유효마력 추정법 및 최소저항을 갖는 선형요소들의 최적화에 관한 연구”, KIMM 연구보고서 UCN131H-270.D, 1982. 12.

[6] Tagano, H., “선박의 저항 추정법에 관한 연구”, 오사카대학 박사학위 논문, 1975. 5.

[7] Wen-Cheng Lin, “Bare Hull Retistance Prediction for Naval Auxiliary Ships.”, DTNSRDC, TM116-83, 1983.

[8] Mishima, S. et al., “A Study on the Hull Form Design (Part I)”, Mitsui Zosen Technical Review No. 121, 1984.

[9] 홍성완의, “통계해석에 의한 저항추정 및 선형계량”, 대한조선학회지 제25권 4호, 1988. 12.

[10] 박성현, 허문열, “전산통계”, 경문사, 1983. 7.

[11] 박성현, “회귀분석”, 대영사, 1981. 3.

[12] 김은찬, 양승일, “저항 및 추진시험 결과해석 프로그램 개발”, 한국기계연구소 소보 제17집, 1987. 12.

[13] Yokoo, K., “저항요소와 선형요소의 관계”, 저항추진 심포지움, 일본조선학회, 1986. 6.

[14] Yazaki, A., Ono, H., “비대선의 선형요소 등과 저항추진성능에 관한 통계적 자료”, 비대선의 추진성능에 관한 심포지움, 일본조선학회, 1975.6.