

통계해석에 의한 정수 중 저항추진성능 추정

김 은 찬 <선박해양공학연구센터>

1. 서 언

시제품을 만들어 본 후 대량 생산에 들어가는 여느 공업과는 달리, 조선공업에서는 시제품을 미리 만들어 볼 수가 없으므로 실선의 성능을 미리 추정하는 것은 참으로 중요한 과제 중의 하나이다. 그 가운데 하나인 저항추진성능을 추정하는 데에는 통계해석 방법이 널리 쓰이고 있다. 여기서 통계해석은 모형시험 결과를 표본자료로 한 통계해석을 말한다. 실선의 저항추진성능을 추정하는 것이므로 실선 속력시운전 자료를 사용하는 것이 좋겠으나, 실선 속력시운전에서 정확한 값을 얻는다는 것이 거의 불가능하므로 대부분 모형시험 값을 이용하곤 한다.

본 고에서는 기존에 발표된 여러 가지 도표와 회귀식을 요약하여 본 후, 표본자료를 이용하여 새로운 회귀식을 만드는 과정을 소개하고자 한다.

2. 저항시험 결과 해석

17세기까지만 하더라도 선형 설계는 과학적 기술과는 거의 관련이 없는 하나의 미적 예술로 간주되었으며, 18세기 말부터 배의 저항에 관심을 가지기 시작하였고, 19세기에 들어서면서부터 배의 저항추진성능에 대한 본격적 연구가 시작되었다. 이는 범선 시절을 마치고 증기기관선과 프로펠러 추진 선이 출현한 것과 때를 같이하고 있다.

1872년 영국의 W. Froude가 최초의 현대식 예인수조에서 저항시험을 수행한 것은 저항추진성능 해석의 초석이 되었다. 그때 세운 가정인 전저항을 마찰저항과 잉여저항으로 나누는 2차원 해석법은 아직까지도 많이 쓰이고 있는 해석법이며, 대부분의 통계해석에서는 아직도 이 잉여저항계수 C_R 를 반응 변

수로 삼고 있다.

그 후, 1954년 G. Hughes는 전저항을 평판마찰저항, 형상에 따른 점성저항 및 조파저항으로 나누는 3차원 해석법을 발표하였는데, 이는 물리적 현상을 논리적으로 잘 설명할 수 있다는 점 때문에 호응을 받기 시작하여 1978년 ITTC 해석법에서 이 방법을 채택하기에 이르렀다. 따라서 최근의 통계해석에는 이 방법을 따라, 형상계수 k 와 조파저항계수 C_W 를 종속변수로 삼고 있는 경우도 많이 있다.

한편, 마찰저항곡선은 모형시험 초기부터 여러 가지가 발표되어 왔으며, 1957년 ITTC 곡선을 마지막으로 하여 새로운 곡선은 나오지 않고 있다. 현재는 대부분의 통계해석에서 ITTC 곡선을 이용하고 있다.

3. 저항계수 도표 및 회귀식

저항성능 추정을 위한 도표를 처음 발표한 것은 1941년 일본의 M. Yamagata이며, 그 이후 Taylor Series, BSRA Series 등 수많은 저항 도표가 발표되어왔다. 한편, 1958년 영국의 D. J. Doust는 최초로 전산기를 이용하여 저항추진성능의 회귀분석을 하였으며, 그 후로는 대부분의 통계해석 결과가 회귀식으로 발표되었고 기존의 도표들도 다시 전산화되었다. 수많은 도표와 회귀식 가운데 우리가 많이 접하게 되는 것들을 다음과 같이 요약하였다. 여기에는 다양한 선종을 다룬다는 면에서 소형선에 대한 자료들도 함께 실었다.

4. 추진시험 결과 해석

1883년 W. Froude의 아들인 R. E. Froude가

추진효율 성분의 분리법을 발표한 이후, 개념이 크게 변화한 것은 거의 없다. 그때부터 사용해 온 추진계수는 반류비 w , 추력감소율 t , 상대회전효율 η_R 의 세 가지이다. 이 세 가지 값에 저항성능과 프로펠러 단독효율을 추가하면 추진성능을 계산해 낼 수 있기에, 이를 저항계수의 3요소라 부르기도 한다. 따라서 통계해석에서는 모두들 이 세 가지 계수 w , t , η_R 를 사용하고 있다.

추진성능 추정에서 도표를 이용하는 경우는 거의 없고 대부분 간단한 식을 만들어 이용해 왔는데, 저항성능의 회귀분석과 때를 같이하여 추진계수에 대해서도 회귀분석을 수행하기 시작하였다. 수많은 추정식 가운데 우리가 많이 접하게 되는 것들을 다음과 같이 요약하였다.

5. 추진계수 추정식

6. 회귀분석 프로그램

주어진 자료의 회귀분석을 위해서는 당연히 전산

명 칭	국적, 발표자	발표 연도	대상 선형	도표, 회귀식	반응 변수	설명변수	마찰저항 곡선
Yamagata Chart	일본, M.Yamagata	1941	1축선 어선~5만톤급유조선	도표	C_R	$C_B, F_n, B/L, B/T$	Froude
(보완)	일본, K.Takashiro	(1980)	고속대형콘테이너, 저속비대선 추가	도표	C_R	$C_B, F_n, B/L, B/T$	ITTC
Taylor Standard Series	미국, D.W.Taylor	1943	순양함 $C_P=0.48\sim 0.86$	도표	C_R	$C_P, B/T, \Delta/L^3, V/L^{0.5}$	Tideman
(보완)	미국, M.Gertler	(1954)	순양함 $C_P=0.48\sim 0.86$	도표	C_R	$C_P, B/T, \nabla/L^3, V/(gL)^{0.5}$	Schoenherr
Lap Chart	네델란드, A.J.W.Lap	1956	일반선형 $C_P=0.60\sim 0.80$	도표	ζ_r	$B/T, \varphi, V/(\varpi L)^{0.5}$	Schoenherr
NPL-Trawler Formula	영국, D.J.Doust	1958	트로울선	회귀식	C_R	$L/B, B/T, C_M, C_P, LCB, \alpha_e, V/L^{0.5}$	Froude
BSRA Series	영국, D.I.Moor 등	1961	화물선 $C_B=0.65\sim 0.80$	도표	\odot_{400}	$C_B, LCB, T, V/L^{0.5}$	ITTC
(보완)	영국, R.Pattullo 등	(1971)	화물선 $C_B=0.55\sim 0.85$	도표	\odot_{400}	$C_B, LCB, T, V/L^{0.5}$	ITTC
Series 60	미국, F.H.Todd	1963	단축화물선 $C_B=0.60\sim 0.80$	도표	C_{T400}	$C_B, B/T, L/B, LCB, V/L^{0.5}$	Schoenherr
Guldhammer & Harvald's Chart	덴마크, H.E. Guldhammer	1965	일반선형 $C_P=0.50\sim 0.80$	도표	C_R	$\varphi, L/\nabla^{1/3}, B/T, LCB, V/(gL)^{0.5}, Hull Form$	ITTC
FAO-Fisher Formula	UN, D.J.Doust	1965	세계 각국 어선	회귀식	C_{R16}	$L/\nabla^{1/3}, B/T, C_M, C_P, LCB, \alpha_e, \alpha_T, \alpha_{BS}, \nabla/L, F_n$	ITTC
Tsuchiya Formula	일본, T.Tsuchiya	1972	일본 어선	회귀식	r_{300}	$L/\nabla^{1/3}, B/T, C_M, C_P, LCB, \alpha_e, \alpha_T, \alpha_{BS}, \nabla/L, a/A, F_n$	ITTC
MARIN(NSMB) Formula	네델란드, J.Holtrop	1977	1축, 2축 각종 모형선 147 척	회귀식	k, R_w	$T/L, B/L_R, C_P, C_M, LCB, C_{wl}, B/L, F_n$	ITTC
(보완)	네델란드, J.Holtrop 등	(1978)	1축, 2축 각종 모형선 147 척	회귀식	k, R_w, R_B	$T/L, B/L_R, C_P, C_M, LCB, C_{wl}, B/L, T_F, ABT, hb, F_n$	ITTC
(보완)	네델란드, J.Holtrop 등	(1982)	1축, 2축 각종 모형선 191 척	회귀식	$k_1, k_2, R_w, R_B, R_{APP}, R_{TR}$	$T/L, B/L_R, C_P, C_M, LCB, T/L, i_e, B/L, L^3/\nabla, T_F, ABT, hb, C_{WP}, F_n$	ITTC
(보완)	네델란드, J.Holtrop	(1984)	1축, 2축 각종 모형선 334 척	회귀식	$k_1, k_2, R_w, R_B, R_{APP}, R_{TR}$	$B/L, T/L, L/L_R, L^3/\nabla, C_P, C_M, B/L, T/B, T_F, ABT, hb, i_e, F_n$	ITTC
Ito Chart	일본, Ito		활주형 고속성	도표	THP	$\Delta L^{0.5}, V/L^{0.5}$	
Takaki Chart	일본, Takaki		Round Bottom 어선	도표	r_r	$B/T, C_P, L/\nabla^{1/3}, F_n$	Froude
FRP Ship Formula	일본, 등 T.Kobayashi	1977	Chine Line 어선 $F_n \nabla=0.6\sim 1.2$	도표 및 회귀식	r_T	$L^3/\nabla, B/T, C_P, LCB, F_n \nabla$	Schoenherr
(보완)	일본, 등 T.Kobayashi	1981	Chine Line 어선 $F_n \nabla=1.3\sim 2.1$	도표 및 회귀식	r_T	$L/\nabla^{1/3}, B/\nabla^{1/3}, LCB, C_B, F_n \nabla$	Schoenherr
MARAD Series	미국, D.P.Roseman	1987	저속비대선 $C_B=0.800\sim 0.875$	도표 및 회귀식	C_R	$L/B, C_B, B/T, F_n$	ITTC
NAVSEA Formula	미국, S.C.Fung	1991	Transom Stern 선형 763척	회귀식	C_R	$DL, L/B, B/T, C_P, C_X, IE, TA, TW, T_T, BA, FB, CWS, V/L^{0.5}$	ITTC

발표자	기관	발표년도	반응변수	설명변수
M.N.Parker	영국 BSRA	1966	t	$C_B, V/(C_B L^{0.5}), V/L^{0.5}, BD/\nabla^k, \delta L_{CB}$
			w	$C_B, V/L^{0.5}, B/(\nabla^k D)^{0.5}, \delta L_{CB}$
			η_R	$C_B, V/L^{0.5}, D/\nabla^k$
Sato	일본 SRC	1976	t	$L/B, B/d, C_B, L_{CB}, C_{BA}/C_{WA}, D/d, BN, 0.6d75, d75$
			w	$L/B, B/d, C_B, L_{CB}, BN, 0.6d75, d75$
			η_R	$L/B, B/d, C_B, L_{CB}, H_A/D_A, D/d, BN, 0.6d75, d75$
J.Holtrop	네델란드NSMB	1977	t	$L/B, C_P$
			w	$L/B, C_P, C_V, L/D$
			η_R	$A_E/A_O, C_{PA}$
(보완)	네델란드NSMB	1984	t	$L/B, D/(BT)^{0.5}, C_P, L_{CB}, C_{atern}$
			w	$C_V, L/T_A, C_{P1}, B/L, B/T_A, S/LD, C_B, C_P, C_M, C_{atern}$
			η_R	$A_E/A_O, C_P, L_{CB}$
van Lammeren	네델란드NSMB	1948	t	C_B
			w	C_B
K.E.Schoenherr	미국 EMB	1934	t	(단축선) w, ; (쌍축선) w
			w	(단축선) $C_{VP}, C_P, B/L, E/T, D/B, K$; (쌍축선) C_B, ϕ
D.W.Taylor	미국 DTMB	1943	w	C_B
M.Yamagata	일본	1941	t	w

기를 사용하게 되는데, 이때 우리는 상용화된 통계해석 패키지 사용하거나 간략하게 만든 FORTRAN 프로그램을 사용하게 된다. 통계해석 패키지를 이용할 경우 작업이 간편하고, 고급 계산기능이 많으며, 출력 그림이 다양하기는 하나, 사용자가 만든 프로그램과 함께 연결하여 작업하는 일관회귀분석 등을 할 수 없고, 프로그램 구입비가 필요하다는 단점이 있다. 저항추진성능 추정에서는 표본자료의 성격상 고도의 회귀분석 기법이 필요 없고, 일관회귀분석도 하게 되므로 FORTRAN 프로그램을 사용하는 것도 좋으리라 판단된다.

통계해석을 위한 상용 프로그램 패키지는 여러 가지가 있으나 SPSS 가 가장 많이 사용되고 있다. SPSS는 사회 과학 분야의 자료관리 및 분석을 위해 처음 만들어졌으며, 이 공학 계통의 연구 분야에는 그 일부가 사용되고 있는 것이다. 처음에는 대형컴퓨터용으로 개발되었다가, PC DOS환경에서 개발되다가 이제는 DOS용에 대한 보완은 중단되고 WIN-DOWS용으로만 계속 보완되고 있다.

7. 회귀분석 고찰

회귀분석을 통해 저항추진계수들에 대한 추정식을 얻는 과정은 다음과 같다.

i) 먼저, 저항시험, 프로펠러 단독시험, 저항추진 시험 결과를 이용하여 모형선의 저항추진계수들을 계산하고, 선형치수들과 함께 Data Bank를 구축한

다. 이때 반응변수로서 추진계수의 경우는 추력감소를 t, 반류비 w, 상대회전효율 η_R 를 사용하는 것이 당연하나, 저항계수의 경우는 잉여저항계수 C_R 를 택할 것인지 아니면 조파저항계수 C_W 와 형상계수 k를 택할 것인지를 결정하여야 한다. 설명변수로서 여러 가지 선형변수가 필요한데 $C_B, L/B$ 등의 간단한 선형계수는 물론 복잡한 형태를 갖는 계수들도 포함시킬 수 있다. 이러한 선형변수는 가능한 한 여러 가지를 만들어 Data Bank에 실어 놓는다.

ii) 두 번째로, 선형변수들과 저항추진계수들에 대해 상관분석을 통해 효과 좋은 설명변수를 선정하고, 자료들 가운데 특이하게 벗어난 값이 있으면 이를 걸러낸다. 이 과정이 가장 중요하고도 많은 노력이 드는 것이다. 이러한 의미에서 전문가들은 회귀분석에서 종합화보다는 개별화가 더욱 중요하다고 이야기하고 있다.

iii) 다음으로, 각각의 저항추진 계수들에 대해 선정된 설명변수로부터 회귀분석을 하여 회귀식을 구한다. 이때 단계별회귀분석 기법을 이용하여 여러 가지 설명변수 가운데 상관이 큰 변수를 단계별로 찾아가며 회귀분석을 할 수도 있다.

iv) 마지막으로, 이렇게 얻어진 회귀계수를 저항추진성능 추정 프로그램에 삽입하여 추진성능 계산 프로그램을 만들어 실선의 전달동력과 회전수를 계산한다.

한편 근래에 이르러 전산기의 발달에 힘입어, 추정하고자 하는 선형과 유사한 자료만을 Data Bank

로부터 읽어들이며 매번 새로운 회귀식을 만들어 추정하는 일관회귀분석이 많이 이용되고 있기도 하다.

[2] Manen J.D. van, Oossanen P. van, "Principles of Naval Architecture: Chapter 5 Resistance & Chapter 6 Propulsion", The Society of Naval Architects and Marine Engineers, Jersey City, U.S.A., 1988.

참 고 문 헌

[1] Harvald, S.A., "Resistance and Propulsion of Ships", Wiley-Interscience Publication, New York, 1983.

[3] 김은찬, "저항추진성능의 실험적, 통계적 해석법 및 발전 경위", 대한조선학회 1993년 하계강습회, 1993년.



학회지 격월 발행 및 논문게재의 다양화

1995년도 (32권)부터 본 학회지를 격월로 증가하여 발행케로 하여드립니다.

아울러 본 학회에 투고된 논문의 게재는 저자의 희망에 따라 아래와 같이 다양화 됩니다.

- * 대한조선학회 논문집
- 국문판 (4회 발간)
- 영문판 (2회 발간)

* 대한조선학회 학회지

논문 학회지에 게재하고자 하는 저자가 많은 경우에는 산업현장의 응원이

높은 논문을 우선적으로 선택하여 학회지에 게재할 예정입니다.