

세가지 마찰저항곡선의 특성에 관한 연구

박동우^{†*}, 강선형^{*}, 전호환^{**}

현대중공업 선박해양연구소^{*}
부산대학교 조선해양공학과^{**}

A Study on a Characteristic of the Three Friction Resistance Lines

Dong-Woo Park^{†*}, Seon-Hyung Kang^{*} and Ho-Hwan Chun^{**}

Maritime Research Institute, Hyundai Heavy Industries Co., Ltd.^{*}
Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Pusan National University^{**}

Abstract

The speed-power prediction is one of the most important functions of towing-tank facilities. Generally, ITTC-1978 extrapolation method is employed for the full-scale powering prediction. During the procedure, the friction resistance line plays a major role to predict both model- and full-scale resistance. In this paper, the form factors determined by ITTC-1957 line for several kinds of vessels are compared with the values obtained using the lines proposed by Grigson(1993) and Katsui et al.(2005). Resistance and self-propulsion coefficients predicted by three different friction resistance lines are minutely analyzed. Finally, brake powers and revolutions estimated by flat plate friction resistance lines of Grigson and Katsui et al. are compared with the results obtained from ITTC-1957 line.

※ Keywords: friction resistance line(마찰저항곡선), ITTC-1978 extrapolation method, ITTC-1957 Line, Grigson(1993), Katsui et al.(2005)

1. 서론

모형시험을 통한 실선의 추진성능추정 과정에

있어서 평판의 마찰저항곡선이 사용된다.

ITTC 1978 해석법(1978)에서는 ITTC-1957 모형선-실선상관곡선(이하, "ITTC-1957 곡선"이라고 함)을 이용하여 모형선과 실선에서의 마찰저항을 계산한다.

23th ITTC 추진분과(Propulsion Committee)에

접수일: 2009년 11월 24일, 승인일: 2010년 6월 18일

†교신저자: dwpark@hhi.co.kr, 052-202-5861

서는 ITTC-1957 곡선의 타당성에 대한 의문이 제기되었다. 이에, Grigson(1993)은 운동량 적분 방정식 (Momentum Integral Equation)으로부터 새로운 마찰저항곡선을 유도하여 2 가지 레이놀즈 수(R_N) 구간에 따라 다르게 표현된 식을 제시하였다.

고텐버그 2000 워크숍(Gothenburg 2000 Workshop)에서는 KVLCC 를 대상선박으로 하여 여러 가지 CFD 코드에 의한 저항계산을 수행하고, 레이놀즈 수 변화에 따른 형상계수(k)를 비교하였다. 여기서, $k=C_T/C_{F0}-1$ 으로 정의하고, C_T 는 CFD 의 이중모형 해에 의한 전 저항, C_{F0} 는 ITTC-1957 곡선 또는 Grigson(1993)이 제시한 마찰저항 곡선(이하, “ Grigson 식” 이라고 함)을 사용하였다. 그 결과 C_{F0} 를 구할 때, ITTC-1957 곡선을 사용하면 실선에서의 형상계수가 모형선에서의 값보다 20%~60% 정도 크게 추정된다는 결과를 제시하면서, ITTC-1957 곡선의 정확성 문제를 제기하였다. 반면, Grigson 이 제시한 식을 사용하여 C_{F0} 를 구하면 실선과 모형선에서의 형상계수 값이 ITTC-1957 곡선을 사용한 경우보다 분산, 즉 차이가 적다는 것을 보여주었다. 정리하면 ITTC-1957 곡선보다 Grigson 식을 사용하는 것이 상대적으로 타당하다는 결과를 제시하였다.

25th ITTC 의 저항분과(Resistance Committee)에서는 Katsui et al.(2005)이 평판에 대한 새로운 마찰저항 곡선(이하, “ Katsui 식” 이라고 함)을 제시하였다. Katsui 식은 운동량 적분 방정식과 Coles' Wall-Wake Law 로 구성된 미분방정식으로 부터 마찰저항 식을 유도하였기 때문에 보다 더 정확하다고 주장하였다. Katsui 식은 Grigson 식과 비교하여 $R_N=10^6$ 에서는 +2%, $R_N=10^7$ 에서는 -2% 그리고 $R_N=10^9$ 에서는 -4%의 차이를 보인다고 설명하였다.

25th ITTC 의 추진성능분과(Powering Performance Committee)에서는 Lucky Ashton 선박에 대하여 실선에서 계측된 전 저항 자료를 확보하였다. 그리고 2.7m 부터 9.1m 까지 크기 별로 6 가지 모형선을 만들어 시험을 수행하였다. 해석과정에서 ITTC-1957 곡선과 Grigson 이 제시한 평

판의 마찰저항곡선을 사용하여 실선에서의 저항을 추정하고, 그 값을 실선에서 계측된 전 저항 값과 비교하였다. 6 가지 모형선에 대하여 ITTC-1957 곡선을 사용한 것이 Grigson 식을 사용한 경우보다 분산이 적고 실제 계측 값에 보다 더 접근한다는 결과를 보고하였다.

앞에서 언급한대로 ITTC-1957 곡선의 타당성에 대한 의문이 제기되면서, Grigson(1993, 1996)과 Katsui et al.(2005)에 의해 새로운 마찰저항곡선이 제안되었다.

본 논문에서는 세가지 마찰저항곡선 식을 사용하여 최종 해석을 통해 얻게 되는 제동마력과 회전수를 실선시운전 결과와 비교하는 것이었다. 구체적으로는 선종 별로 어떤 마찰저항곡선을 사용하는 것이 시운전 결과에 보다 더 일치하는가를 보여주하고자 하였다. 그러나, 당사의 시운전 결과를 제시하기에는 한계가 있음으로 인해 본 내용에서는 생략한다. 단지, 이러한 해석자료를 활용하여 각 기관이 보유하고 있는 시운전 결과와의 비교분석이 가능하기를 바란다.

본 논문의 연구방향을 정리하면 다음과 같다. 먼저 선종이 다른 9 척의 일반상선을 선정하였다. 그리고 선종 별로 세가지 마찰저항곡선을 적용하였을 때 실선 확장 과정에서 발생하는 저항 및 자항요소 들의 차이, 저항과 자항요소 들 간에 어떠한 영향을 주고 받는지에 대한 상관관계, 그리고 선종 별로는 어떤 경향을 보이는가를 상세히 분석하고자 한다.

2. 대상선박

대상선박은 일반상선 중 상대적으로 고속선박인 컨테이너 운반선 부터 저속선박인 대형 유조선까지 총 9 척이며, Table 1 은 선종에 따라 선박을 구분 하기 위해서 구분번호를 부여하여 나타내었다. Fig. 3 에서 Fig. 22 까지 가로축의 Vessel 은 Table 1 에서 정의한 구분번호이며, 세로축은 ITTC-1957 곡선에 의한 결과를 100.0%로 정의할 때 Grigson 식과 Katsui 식에 의한 결과를 상대적인 값으로 나타낸 것

이다.

Table 1 The subject vessels

대상선박	구분번호
대형 컨테이너 운반선	1
중형 컨테이너 운반선	2
자동차 전용 운반선	3
소형 액화석유가스 운반선	4
중형 액화석유가스 운반선	5
대형 천연가스 운반선	6
원유 운반선	7
대형 유조선 1	8
대형 유조선 2	9

3. 저항성분 분석

3.1 모형선의 전 저항 계수(C_{TM})

Fig. 1은 배 길이가 7m 전후인 모형선을 사용하여 수행한 저항시험의 결과이다. Table 1에서 언급한 9척에 대한 정확한 저항시험 결과는 사정상 모두 나타내지 못한다. 단지, 고속선박인 컨테이너 운반선, 중속선박인 천연가스 운반선 그리고 저속선박인 대형 유조선에 대한 일반적인 저

항곡선을 레이놀즈 수에 따라 그 특성을 보여주었다. 수행된 모형시험에서의 레이놀즈 수 범위는 $6.6 < \text{Log}_{10}R_N < 7.2$ 이다. 먼저 $6.6 < \text{Log}_{10}R_N < 7.2$ 범위에서 세가지 평판의 마찰저항 계수를 검토하였다.

3.2 평판의 마찰저항 계수(C_{F0})

Fig. 2는 세 가지 마찰저항 곡선을 레이놀즈 수에 따라 비교한 것이다. $6.6 < \text{Log}_{10}R_N < 7.2$ 범위에서 평판의 마찰저항 계수(C_{F0})를 살펴보면 ITTC-1957 곡선, Grigson 식 그리고 Katsui 식 순서로 큰 경향을 보여준다. Table 2를 보면 Grigson 식에 의한 C_{F0}는 $\text{Log}_{10}R_N = 7.2$ 에서는 ITTC-1957 곡선과 거의 비슷한 값을 보여주지만, $\text{Log}_{10}R_N = 6.6$ 에 가까워질수록, 즉 레이놀즈 수가 낮아질수록 많은 차이를 보여준다. Katsui 식에 의한 C_{F0}는 $6.6 < \text{Log}_{10}R_N < 7.2$ 범위 내에서 ITTC-1957 곡선과 비교하여 3%~5%의 차이를 보여준다. 실선에서의 설계속도 영역인 $9.3 < \text{Log}_{10}R_N < 9.6$ 범위 내에서 마찰저항 계수를 비교하여 보면 Grigson 식과 Katsui 식에 의한 C_{F0}는 ITTC-1957 곡선에 의한 C_{F0}보다 각각 약 6%와 2% 정도 큰 값을 보여주었다.

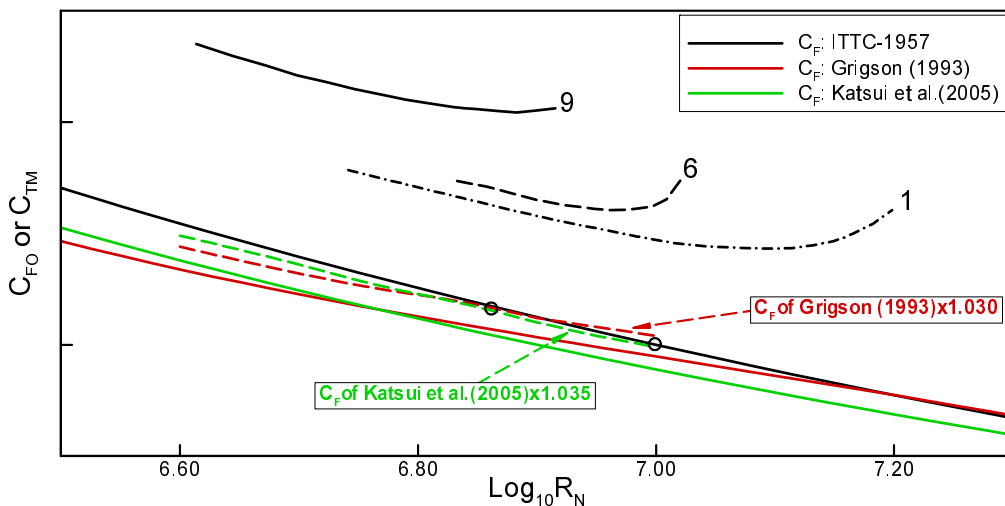


Fig. 1 Comparison of flat-plate frictional resistance coefficients of a model scale

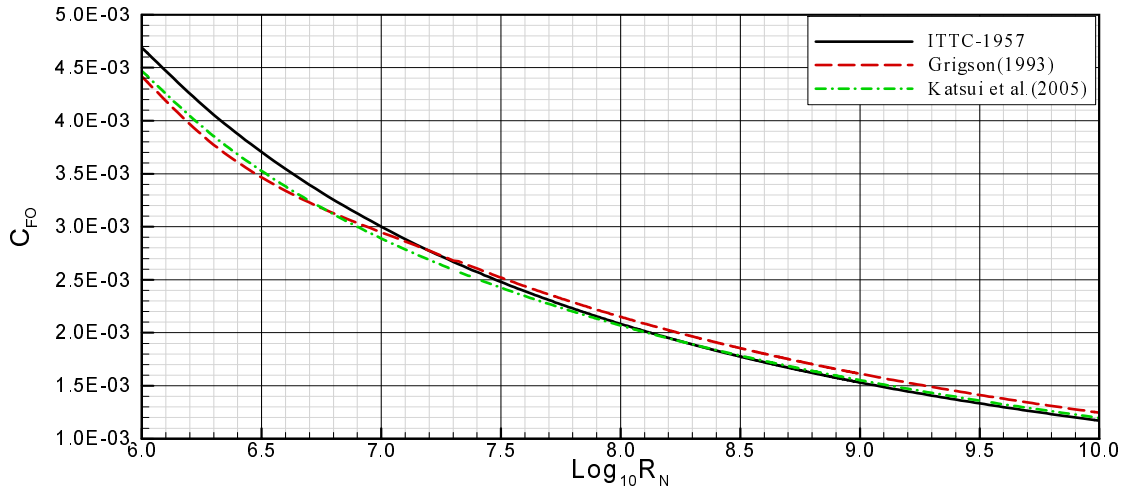


Fig. 2 Comparison of flat-plate frictional resistance coefficients

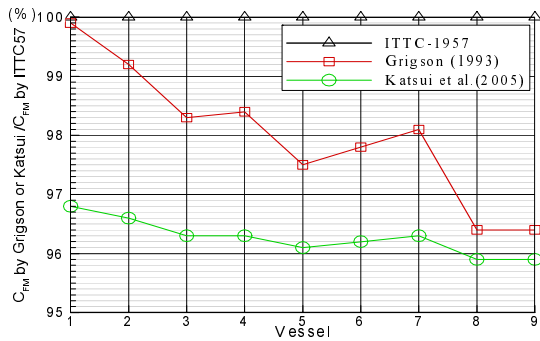


Fig. 3 Relative difference of C_{FM}

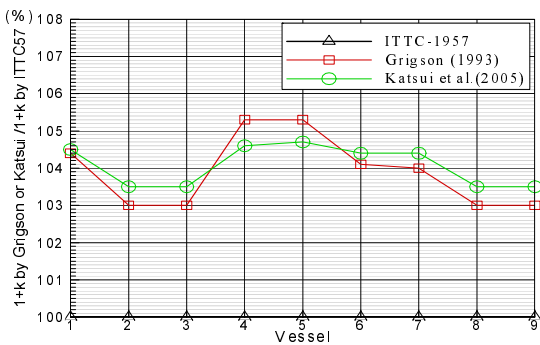


Fig. 4 Relative difference of $1+k$

Table 2 Comparison of three flat-plate frictional resistance coefficients

$\text{Log}_{10} R_N$	ITTC 1957	Grigson 1993	%	Katsui et al. 2005	%
6.6	3.544	3.349	94.5	3.379	95.3
6.7	3.395	3.234	95.3	3.244	95.5
6.8	3.255	3.129	96.1	3.117	95.8
6.9	3.124	3.033	97.1	2.999	96.0
7.0	3.000	2.944	98.1	2.889	96.3
7.1	2.884	2.858	99.1	2.785	96.6
7.2	2.774	2.776	100.1	2.687	96.9
~					
9.3	1.407	1.493	106.1	1.433	101.8
9.4	1.370	1.454	106.2	1.396	101.9
9.5	1.333	1.418	106.3	1.360	102.0
9.6	1.298	1.382	106.4	1.325	102.1

3.3 모형선에서의 마찰저항 계수(C_{FM})

Fig. 3 은 설계속도 근처에서의 마찰저항 계수를 백분율(%)로 비교한 것이다. 모형선 영역에서는 ITTC-1957 곡선보다 Grigson 식이나 Katsui 식이 모두 작은 값을 보여주었다. 특히 레이놀즈 수가

가장 낮은 선박인 9의 대형 유조선의 경우 가장 많은 차이를 보여주었으며, 반대로 1의 컨테이너 운반선은 레이놀즈 수가 높음에 따라 적은 차이를 보여주었다.

3.4 형상계수(1+k)

Fig. 4는 형상계수를 나타낸 것으로 선종 별로 ITTC-1957 곡선을 사용하여 Prohaska 방법에 의해 결정된 값을 100%로 하였다. Grigson 식과 Katsui 식의 C_{FO} 를 사용할 경우 그 곡선의 특성으로 인해 ITTC-1957 곡선보다 3%~5% 큰 값을 보여주었다. 이는 Fig. 1에서 Grigson 식과 Katsui 식을 평균적으로 약 1.04 배 정도를 하면 ITTC-1957 곡선과 유사한 경향을 보여준다.

3.5 점성저항 계수(C_{VM})

Fig. 5는 모형선에서의 점성저항을 나타낸 것으로 $C_{VM}=(1+k)C_{FM}$ 으로 정의하였다. 9척 선박 중 Vessel 1의 경우 Grigson 식과 Katsui 식에 의한 C_{FM} 이 ITTC-1957 곡선의 값보다 각각 약 0%, 3.2% 작고, 형상계수는 2가지 식에 의한 것이 모두 약 4.4% 증가하여 C_{VM} 은 각각 약 4%, 1% 증가된 결과를 보여주었다. Vessel 9의 경우, 고속선박인 Vessel 1과 같이 Grigson 식과 Katsui 식에 의한 C_{FM} 이 ITTC-1957 곡선의 값보다 각각 약 3.6%, 4.1% 작고, 형상계수는 약 3.5%, 3.0% 증가하는 동일한 정성적인 경향을 보여준다. 그러나 2가지 요소의 정량적인 면에서 Vessel 1과 차이를 보여 C_{VM} 은 2가지 식에 의한 것이 모두 1% 내에서 감소된 결과를 보여주었다.

3.6 조파저항 계수(C_{WM})

Fig. 6은 조파저항을 나타낸 것으로 $C_{WM}=C_{TM} - (1+k)C_{FM}$ 으로 정의된다. 9척 선박 중 고속선박인 Vessel 1의 경우 Grigson 식과 Katsui 식에 의한 C_{VM} 이 ITTC-1957의 값보다 각각 약 4%, 1% 증가하여, 조파저항 계수는 반대로 약 35%와 10%로 감소하였다. 저속선박인 Vessel 9의 경우 Grigson 식과 Katsui 식에 의한 C_{VM} 이 ITTC-1957 곡선의

값보다 약 1.0% 감소하여 조파저항 계수는 반대로 약 30% 증가한 결과를 보여주었다.

Vessel 6에서 Grigson 식을 사용한 경우, Fig. 1의 모형선에서의 전 저항 곡선을 살펴보면 형상계수를 결정하는 저속구간(Fig. 1 참조)에서는 마찰저항 값이 적고, 설계속도 영역에서는 마찰저항 값이 큼으로 인해 C_{VM} 은 상대적으로 큰 값을 나타내었다. 이로 인해 조파저항 값은 ITTC-1957을 사용한 것보다 약 100% 감소된 값을 보여주고 있다.

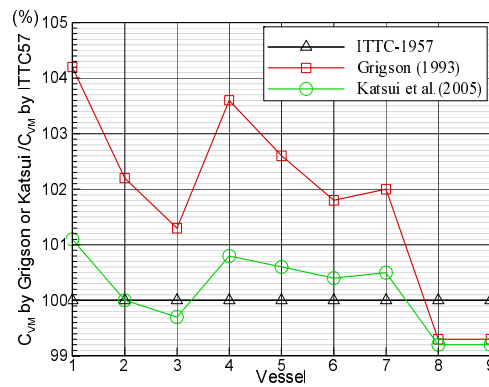


Fig. 5 Relative difference of C_{VM}

3.7 실선의 마찰저항 계수(C_{FS})

Fig. 7은 설계속도 근처에서의 실선의 마찰저항을 나타낸 것이다. Fig.2와 Table 2에 언급한대로 Grigson 식과 Katsui 식에 의한 C_{FS} 가 선종 구분 없이 각각 약 6%, 2% 정도 큰 값을 보여 주었다.

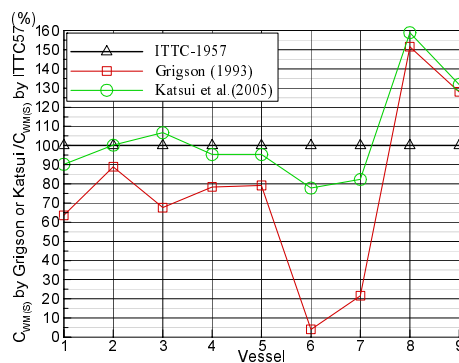


Fig. 6 Relative difference of C_W

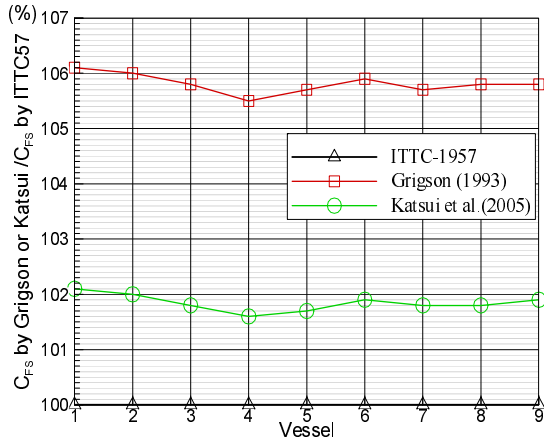


Fig. 7 Relative difference of C_{FS}

3.8 실선의 점성저항 계수(C_{VS})

Fig. 8 은 실선에서의 점성저항을 나타낸 것으로 $C_{VS}=(1+k)C_{FS}$ 로 정의된다. Grigson 식과 Katsui 식에 의한 형상계수가 앞에서 언급한대로 모든 선종에 대해 약 3%~5% 증가하고, C_{FS} 역시 증가하여 C_{VS} 는 Grigson 식의 경우 약 9% 내외, Katsui 식의 경우 약 5% 내외로 ITTC-1957 곡선에 의한 것보다 증가된 결과를 보여주었다.

3.9 실선의 전 저항 계수(C_{TS})

Fig. 9 는 실선의 전 저항 계수를 나타내었다. Grigson 식과 Katsui 식에 의한 조파저항 계수는 작게 추정되지만, 실선에서의 점성저항 계수는 상대적으로 크게 추정되어 전 저항은 ITTC-1957 곡선을 사용한 경우 보다 상당히 큰 값이 추정된다. 한가지 특이한 점은 고속선박인 Vessel 1의 경우 Grigson 식에 의한 결과가 가장 크고, 저속선박인 Vessel 9의 경우 Katsui 식에 의한 전 저항이 가장 큰 것으로 추정되었다.

Vessel 1의 경우

Katsui(약+3%) > Grigson(약+1%) > ITTC1957 곡선

Vessel 9의 경우

Grigson(약+9%) > Katsui(약+6%) > ITTC1957 곡선

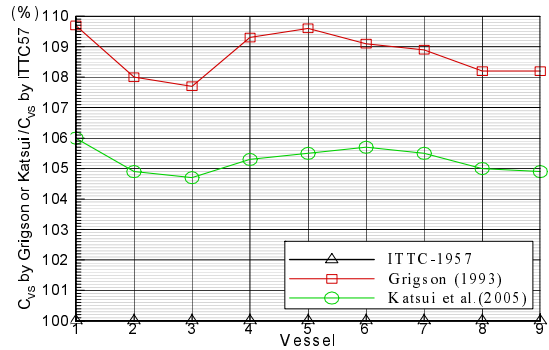


Fig. 8 Relative difference of C_{VS}

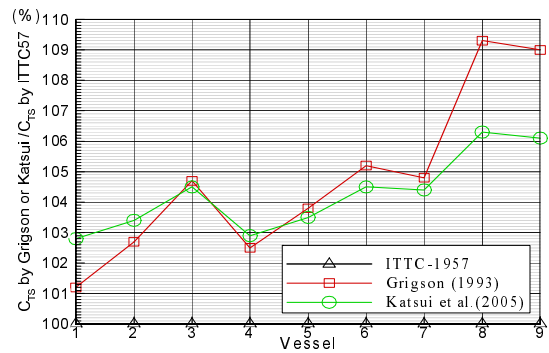


Fig. 9 Relative difference of C_{TS}

3.10 저항 결과 정리

세 가지 평판의 마찰저항 곡선에 의한 저항성분을 단계별로 분석하였고, 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) Grigson 식과 Katsui 식에 의한 평판의 마찰저항 곡선은 모형선 영역의 레이놀즈 수에서는 ITTC-1957 곡선 보다 작고, 실선 영역의 레이놀즈 수에서는 ITTC-1957 곡선 보다 큰 경향을 보여준다.
- 2) 평판의 마찰저항 곡선의 특성으로 인해 형상계수는 ITTC-1957 곡선에 의해 결정된 값 보다 Grigson 식과 Katsui 식에 의해 결정된 값이 선종에 따라 약 3%~5% 정도 크게 추정된다.
- 3) Grigson 식과 Katsui 식에 의한 조파저항 계수는 크게 추정된 형상계수로 인하여 저속선박인 대

형 유조선은 제외하고는 ITTC-1957 곡선에 의한 값보다 전반적으로 상당량 작은 경향을 보여준다. 반면, 대형 유조선의 경우와 같이 상대적으로 낮은 레이놀즈 수에서는 Grigson 식과 Katsui 식에 의한 마찰저항 값이 ITTC-1957 곡선보다 약 4%~5% 정도 많이 감소하여 조파저항 계수는 증가하는 경향을 보여준다.

- 4) Grigson 식과 Katsui 식에 의한 실선의 점성저항은 큰 형상계수와 이 영역에서의 마찰저항이 Grigson 식의 경우 약 6% 그리고 Katsui 식의 경우 약 2% 정도 큰 값과 곱해져서 평균적으로 각각 9%와 5% 정도의 증가량을 보여준다.
- 5) Grigson 식과 Katsui 식에 의한 실선의 전 저항은 점성저항이 지배적으로 작용하여 ITTC-1957 곡선보다 약 1%~9% 정도의 큰 경향을 보여주었다.

4. 저항성분 분석

4.1 마찰 수정량(F_D)

마찰수정량은 $1+k$ 와 C_{FM} 과 C_{FS} 차이의 곱으로 다음과 같이 정의된다.

$$F_D = \frac{1}{2} \rho_M S_M V_M^2 [(1+k)(C_{FM} - C_{FS}) - \Delta C_f] \quad (1)$$

여기서, 첨자 M은 모형선을 나타내며, ρ_M 은 밀도, S_M 은 침수표면적, V_M 은 속도 그리고 ΔC_f 는 선체표면 거칠기 계수이다.

형상계수는 Grigson식과 Katsui식에 의한 값이 ITTC-1957곡선에 의한 값보다 3%~5%정도 크다. Fig. 2의 Grigson식과 Katsui식에 의한 마찰저항 값을 ITTC-1957 곡선과 비교하였을 때 모형선 영역의 레이놀즈 수에서는 작고, 실선 영역의 레이놀즈 수에서는 크다. 형상계수와 마찰저항 차이 값의 크고 작은 상관관계에 의해 Grigson식과 Katsui식에 의해 계산된 F_D 가 ITTC-1957 곡선에 의한 것 보다 그 값이 작다. Fig. 10은 9척의 대상선박에 대하여 마찰저항 곡선에 따른 F_D 의 값을 보여준다.

4.2 저항점에서의 회전수, 추력 그리고 토크

Grigson 식과 Katsui 식에 의해 계산된 F_D 가 ITTC-1957 곡선에 의한 값 보다 작음으로 인해 저항점에서 프로펠러의 회전수(rps), 추력(Thrust) 그리고 토크(Torque)는 Fig.11~Fig.13에 보여주듯이 ITTC-1957 곡선에 의한 결과보다 큰 값을 보여준다.

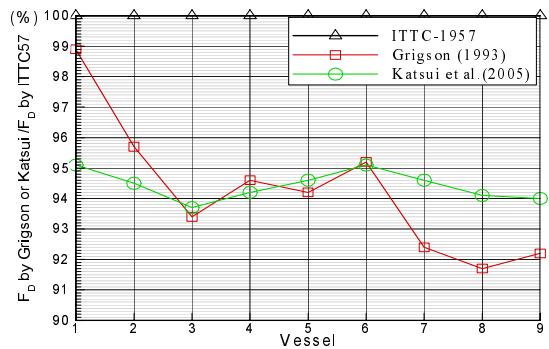


Fig. 10 Relative difference of F_D

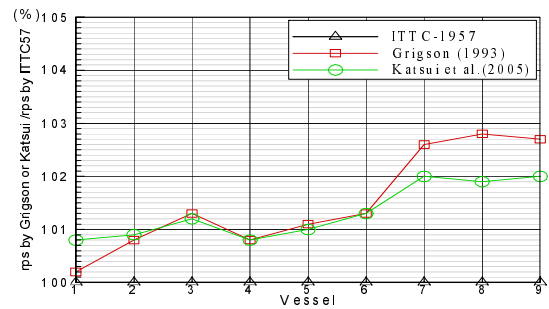


Fig. 11 Relative difference of rps

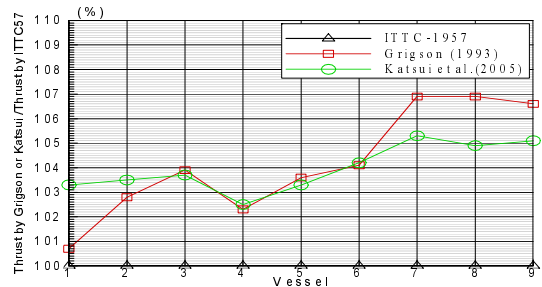


Fig. 12 Relative difference of Thrust

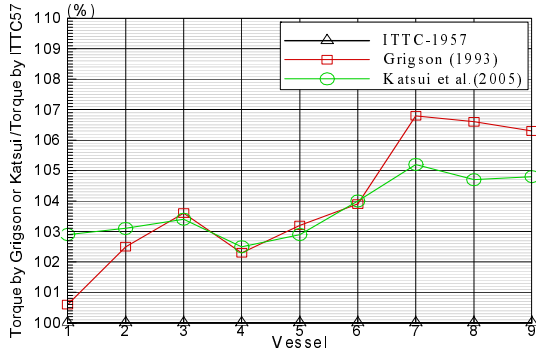


Fig. 13 Relative difference of Torque

4.3 모형선의 유효반류 계수(w_{TM})

유효반류 계수는 다음과 같이 정의된다.

$$w_{TM} = 1 - \frac{J_{TM} n_M D_M}{V_M} \quad (2)$$

여기서, 첨자 M은 모형선을 나타내며 J_M 은 전진비, n_M 은 회전수, D_M 은 모형 프로펠러 직경 그리고 V_M 은 선속 이다.

Fig. 11 에서 Grigson 식과 Katsui 식에 의해 결정된 프로펠러 회전수가 ITTC-1957 곡선에 의한 값보다 크다. 따라서 Grigson 식과 Katsui 식에 의한 유효반류 계수는 회전수가 지배적인 인자로 작용하여 ITTC-1957 곡선에 의한 값보다 적게 나타난다. Fig. 14 는 그 결과를 보여주고 있다.

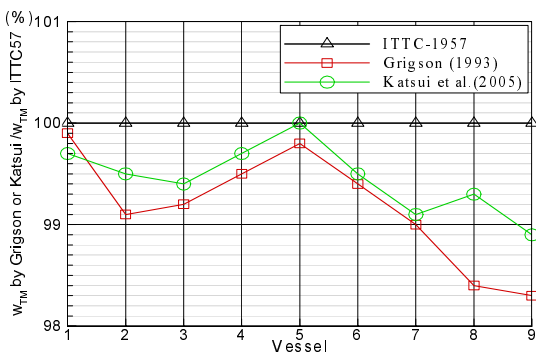


Fig. 14 Relative difference of w_{TM}

4.4 추력감소 계수(t)

추력감소 계수는 다음과 같이 정의된다.

$$t = \frac{T_M + F_D - R_c}{T_M} \quad (3)$$

여기서, 첨자 M은 모형선을 나타내며, R_c 는 저항시험 시 전저항을 저항 추진시험시의 수온에 대한 값으로 환산한 것이다. Grigson식과 Katsui식에 의한 F_D 는 ITTC-1957 곡선에 의한 값 보다 작고, 반면 추력(T_M)은 크다. 이 2가지 물리량의 크고 작은 상관관계에 의해 추력감소 계수는 Grigson식과 Katsui식에 의해 계산된 값이 ITTC-1957 곡선에 의한 값 보다 조금 작은 결과를 보여주었다.

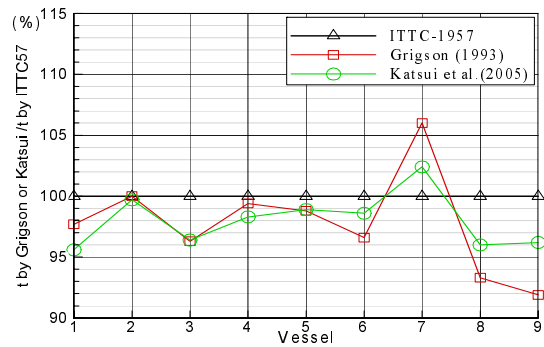


Fig. 15 Relative difference of t

4.5 실선의 유효반류 계수(w_{TS})

실선의 유효반류 계수는 추력감소 계수, 모형선에서의 유효반류 계수 그리고 실선과 모형선에서의 점성저항 비율 등이 서로 혼합되어 다음과 같이 정의된다.

$$w_{TS} = (t+0.04) + (w_{TM} - t - 0.04) \cdot \frac{(1+k)C_{FS} + \Delta C_F}{(1+k)C_{FM}} \quad (4)$$

Fig. 16 의 결과를 살펴보면 3 가지 요소가 혼합되어 Grigson 식과 Katsui 식에 의해 해석된 값이 ITTC-1957 곡선에 의한 값 보다 전반적으로 적게 추정되었다.

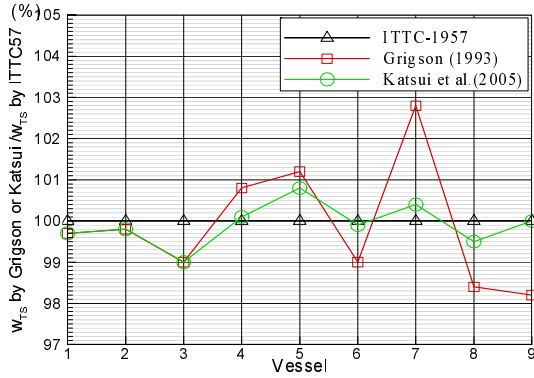


Fig. 16 Relative difference of w_{TS}

4.6 선체효율 계수(η_H)

선체효율 계수는 다음과 같이 정의된다.

$$\eta_H = \frac{1-t}{1-w_{TS}} \tag{5}$$

Grigson 식과 Katsui 식에 의한 t 와 w_{TS} 가 ITTC-1957 곡선에 의한 값 보다 전반적으로 작다. 이들 2 가지 물리량 중 t 에 의한 상관 영향계수가 지배적으로 작용하여 Grigson 식과 Katsui 식에 의해 추정된 η_H 가 ITTC-1957 곡선 보다 약 1% 정도 큰 값을 보여주었다.

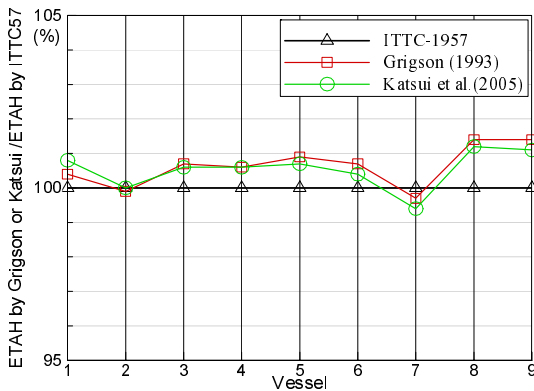


Fig. 17 Relative difference of η_H

4.7 상대회전효율 계수(η_R)

상대회전효율 계수는 다음과 같이 정의된다.

$$\eta_R = \frac{K_{QTM}}{K_{QM}} \tag{6}$$

여기서, 첨자 M은 모형선을 나타내며, K_{QTM} 은 추력 일치법에 의해서 프로펠러 단독 특성으로부터 구한 값이며, K_{QM} 은 자항점에서 측정된 토오크이다. Grigson식과 Katsui식에 의한 자항점에서의 토오크가 ITTC-1957 곡선보다 크지만, K_{QTM} 역시 동일한 비율로 증가하여 세가지 마찰저항 곡선에 의해 해석된 η_R 은 1% 내에서 거의 동일한 결과를 보여주었다.

4.8 프로펠러효율 계수(η_O)

프로펠러효율 계수는 프로펠러 부하 계수인 K_T/J^2 에 의해서 결정되는 값이며, 이 계수는 C_{TS} , t 그리고 w_{TS} 의 함수로 구성된다.

$$\frac{K_T}{J^2} = \frac{S_s}{2 \cdot D_s^2} \cdot \frac{C_{TS}}{(1-t)(1-w_{TS})^2} \tag{7}$$

여기서, 첨자 S 는 실선을 나타낸다. 일반적으로 t 와 w_{TS} 가 작으면, 프로펠러 부하가 감소하여 프로펠러 효율은 향상된다. 그러나 Grigson 식과 Katsui 식에 의해 계산된 t 와 w_{TS} 는 ITTC-1957 곡선에 의한 값 보다 작지만, 전 저항 계수인 C_{TS} 가 상당히 큼으로 인해 프로펠러 부하가 증가하게 된다. 따라서 프로펠러 효율은 ITTC-1957 곡선에 의한 효율보다 작아진다. 따라서 Grigson 식과 Katsui 식에 의해 계산된 η_O 는 ITTC-1957 곡선에 의한 값 보다 2% 내에서 작은 값을 보여주었다.

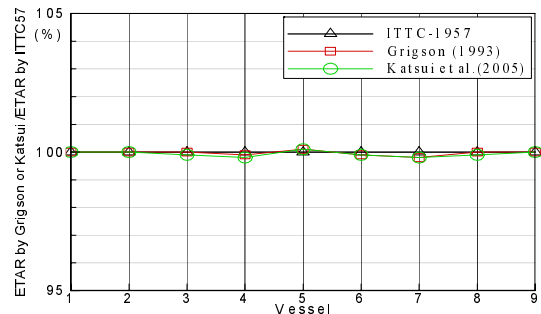


Fig. 18 Relative difference of η_R

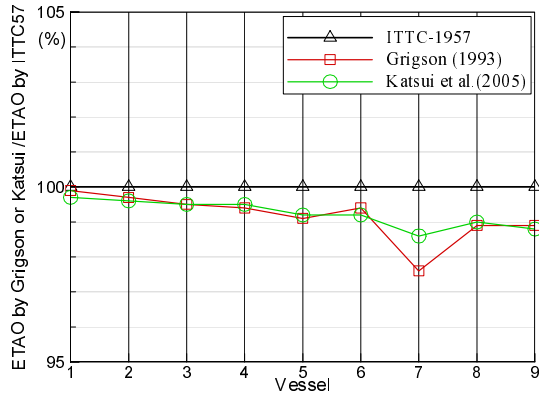


Fig. 19 Relative difference of η_o

4.9 준 추진효율 계수(η_o)

준 추진효율 계수는 η_H , η_R 그리고 η_o 의 곱으로 나타나는 것으로 다음과 같이 정의된다.

$$\eta_D = \eta_H \times \eta_R \times \eta_o \tag{8}$$

Grigson 식과 Katsui 식에 의해 추정된 η_H 는 ITTC-1957 곡선에 의한 것 보다 크고, η_R 는 대부분이 동일하며, 반면 η_o 는 ITTC-1957 곡선 보다 작아져서 세가지 마찰저항 곡선에 의해 해석된 준 추진효율 계수는 서로 크고 작은 영향을 주어 거의 동일한 결과를 보여주었다.

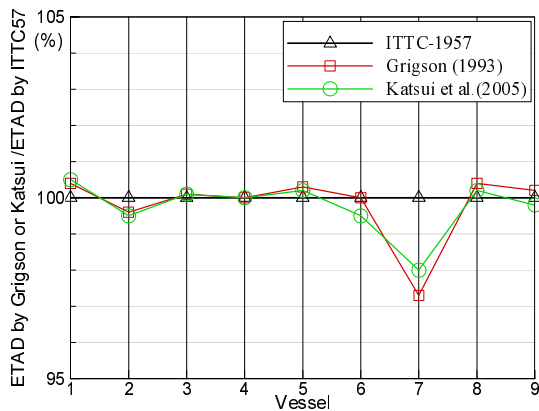


Fig. 20 Relative difference of η_D

4.10 제동마력(P_D)

제동마력은 유효마력(EHP)과 η_D 의 관계로부터 구해진다. Grigson 식과 Katsui 식에 의해 추정된 EHP 는 Fig. 9 에서 언급하였듯이 ITTC-1957 곡선 보다 크고, η_D 는 세 가지 마찰저항 곡선에 의한 결과 모두 거의 동일한 값을 보여주었다. 따라서 각 선종 별로 P_D 는 저항의 증가된 양 만큼 제동마력에서도 증가된 결과를 보여주었다.

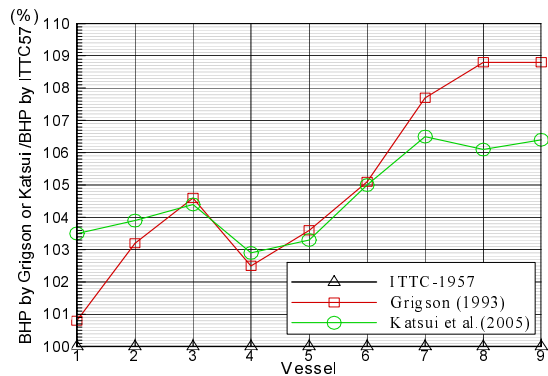


Fig. 21 Relative difference of BHP

4.11 프로펠러 회전수(RPM)

실선에서의 회전수는 다음과 같이 정의된다.

$$\eta_s = \frac{(1 - w_{TS}) \cdot V_s}{J_{TS} \cdot D_s} \tag{9}$$

여기서, 첨자 S 는 실선을 나타낸다. 회전수 역시 Grigson 식과 Katsui 식에 의해 추정된 w_{TS} 와 J_{TS} 가 작아져서 P_D 에서 보여준 경향대로 ITTC-1957 곡선보다 증가된 결과를 보여주었다.

4.12 저항 결과 정리

- 1) 저항해석의 첫 단계는 마찰수정량의 산정인데 Grigson 식과 Katsui 식에 의한 형상계수가 ITTC-1957 곡선 보다 크다. 그러나 마찰저항 곡선의 특성으로 인해 ITTC-1957 곡선에 의해 계산된 값 보다 Grigson 식과 Katsui 식에 의해 계산된 값이 작다. 이로 인해 예측된 프로펠러 회전수, 추력 및 토크는 Grigson 식과 Katsui

식에 의한 값이 ITTC-1957 곡선에 의한 값 보다 크게 나타난다.

2) Grigson 식과 Katsui 식에 의한 η_D 는 해석단계 별로 저항요소들 간에 서로 크고 작은 상관관계에 의해서 최종적으로는 ITTC-1957 곡선과 거의 동일한 결과를 보여주었다.

5. 결론

세 가지 평판의 마찰저항 곡선에 의한 저항 및 저항요소를 해석 단계별로 분석하였고, 최종적으로 제동마력의 결과를 서로 비교하였다.

추정된 제동마력의 결과는 Fig. 22 에 나타내었으며, 정리하면 다음과 같다.

- 9 척 모두 Grigson 식과 Katsui 식에 의해 추정된 마력이 ITTC-1957 곡선에 의한 것 보다 크게 나타났다.
- 상대적으로 고속선박인 1 과 2 는 Grigson 식에 의해 추정된 제동마력이 Katsui 식에 의한 마력보다 적게 추정되었다.
- 중속선박인 3 에서 7 은 Grigson 식과 Katsui 식에 의해 추정된 제동마력이 거의 동일하였다. 반면, 저속선박인 8 과 9 의 Vessel 은 Grigson 식에 의해 추정된 마력이 Katsui 식에 의한 결과보다 크게 추정되었다.
- 이러한 결과는 선종에 따라 C_{TM} 곡선이 분포하는 R_N 영역과 마찰저항 곡선의 특성과의 상관 관계로부터 기인한 것으로 분석된다.

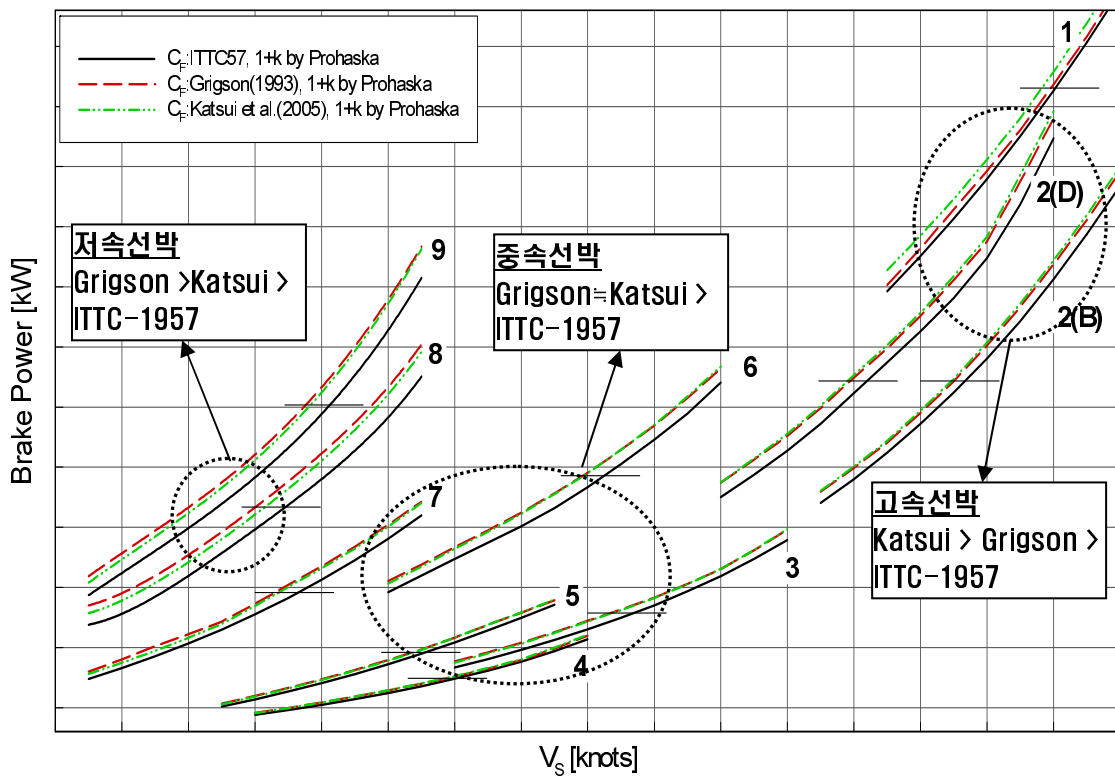


Fig. 22 Comparison of Brake Power for several kinds of vessels

참 고 문 헌

- ITTC, 1978, " Report of Performance Committee," 15th ITTC, Hague.
- Larsson, L. (Eds.), 2000. Proceedings of Gothenburg 2000: A Workshop on CFD in Ship Hydrodynamics, Gothenburg, Sweden.
- Grigson, C.W.B., 1993, " An Accurate Smooth Friction Line for Use in Performance Prediction," Trans. RINA Part A, Vol. 135, pp. 149-162.
- Grigson, C.W.B., 1996, " A reanalysis of the Lucy Ashton and Victory experiments, Transactions," Trans. of RINA, Vol. 138(1), pp. 17-130.
- ITTC, 2002, " Report of Propulsion Committee," 23rd ITTC, Venice.
- Katsui, T., Asai, H., Himeno, Y. and Tahara, Y., 2005, " The Proposal of a New Friction Line," Proc. 5th Osaka Colloquium on Advanced Research on Ship Viscous Flow and Hull Form Design by EFD and CFD Approaches, Osaka, Japan, pp. 76-83.

- ITTC, 2008, " Report of Resistance Committee," 25th ITTC, Fukuoka.
- ITTC, 2008, " Report of Specialist Committee on Powering Performance Prediction," 25th ITTC, Fukuoka.



< 박 동 우 > < 강 선 형 > < 전 호 환 >