



선박 실선 저항/유효마력 추정

2016년 해양구조물 실험 특론

정 광 효 교수

부산대학교 조선해양공학과

Requirements of Similitude

- Model should be geometrically, kinematically, dynamically similar to the prototype.

- Scale Ratio :
$$\frac{X_p}{X_m} = \frac{\text{Value of X in Prototype}}{\text{Value of X in Model}}$$

- Length :
$$\frac{L_p}{L_m} = \frac{25 \text{ m}}{1 \text{ m}} = 25$$

- Area :
$$\frac{A_p}{A_m} = \frac{L_p^2}{L_m^2} = \left(\frac{L_p}{L_m}\right)^2 = N_L^2$$

- Velocity :
$$\frac{V_p}{V_m} = \frac{\left(\frac{L}{t}\right)_p}{\left(\frac{L}{t}\right)_m} = \left(\frac{L_p}{L_m}\right) \cdot \left(\frac{t_m}{t_p}\right) = N_L/N_t$$

Non-dimensional Criteria

- Froude Criterion

$$\sqrt{\frac{\text{inertial force}}{\text{gravity force}}} = \sqrt{\frac{\rho L^2 V^2}{\rho L^3 g}} = \frac{V}{\sqrt{gL}} \quad \left(\frac{V}{\sqrt{gL}}\right)_p = \left(\frac{V}{\sqrt{gL}}\right)_m$$

- Reynolds Criterion

$$\frac{\text{inertial force}}{\text{viscous force}} = \frac{\rho L^2 V^2}{\mu V L} = \frac{\rho L V}{\mu} \quad \left(\frac{\rho L V}{\mu}\right)_p = \left(\frac{\rho L V}{\mu}\right)_m$$

선체 저항(Ship Resistance)

- 저항(resistance): 물체 운동을 방해하는 힘

선박을 일정속도로 예인하는 힘 (towing force)과 같음



- 나선 저항: 선박에 빌지 킨(bilge keel)이나 방향타(rudder)와 같은 부가물 (appendage)이 부착되지 않는 선박(나선, bare hull)에 대한 저항

선체 저항(Ship Resistance)

- 저항(resistance): 물체 운동을 방해하는 힘
 - 선박을 일정속도로 예인하는 힘 (towing force)과 같음
- 나선 저항: 선박에 빌지 킬(bilge keel)이나 방향타(rudder)와 같은 부가물(appendage)이 부착되지 않는 선박(나선, bare hull)에 대한 저항
- 총저항 = 점성저항(Viscous Res.) + 조파저항(Wave-making Res.) + 공기저항(Air Drag)
 - ✓ 점성저항 (Viscous resistance) : 물의 점성에 의한 에너지 손실
 - ✓ 조파저항 (Wave-making resistance) : 선박이 진행할 때 생기는 파계(wave system)로 인해 일어나는 손실

선체 저항(Ship Resistance)

- 점성저항 = 표면마찰저항(frictional resistance) +
형상저항(form resistance) 혹은 압력저항(pressure resistance) +
와류저항(Eddy, Spray, Separation)
 - ✓ 마찰저항: 선체 침수표면(wetted surface)에서 물 점성에 의한 접선방향의 응력(stress)성분을 적분한 것
 - ✓ 형상(압력)저항: 3차원 형상 물체의 앞 뒤 압력차에 기인하는 저항
 - ✓ 와류저항: Spray, 박리(separation) 및 와류 생성에 기인하는 저항

선체 저항(Ship Resistance)

- 공기저항
 - ✓ 자유표면 위 선각과 갑판 위의 구조물이 공기와의 접촉에 의해 받는 공기 저항
 - ✓ 물과 공기의 현격한 밀도 차이 (온도 섭씨 15°에서 담수의 밀도는 $999.0\text{kg}/\text{m}^3$, 건조한 공기의 밀도는 $1.226\text{kg}/\text{m}^3$, 따라서 물과 공기의 밀도 비는 약 815배임) 때문에 선박의 저항을 이야기 할 때는 일반적으로 공기 저항은 무시
 - ✓ 20노트 이상의 소형 고속선의 경우 공기저항 성분이 전 저항의 10% 이상을 차지하는 경우가 많으므로 무시해서는 안됨

선체 저항(Ship Resistance)

- 조파저항



모형실험을 통한 실선저항 추정

✚ 실선 저항 추정을 위한 모형 실험

- 수조에서 일정한 축적비를 가지는 모형선의 모형 시험으로 추정
- 실선과 모형선의 기하학적 상사와 역학적 상사 조건 충족
- 조파저항(Froude 수), 마찰저항(레이놀즈 수): 동시 만족 현실적 불가
- 동일한 Froude수에서 모형시험 수행
- 저항시험은 모형선이 실선의 상태와 가능한 동일한 조건으로
- 모형선의 축적비는 수조의 크기와 예인전차의 가용속도범위 내에서 결정하며 가능한 모형시험의 불확실성을 최소화하기 위해 모형선의 크기를 크게 하는 것이 좋음

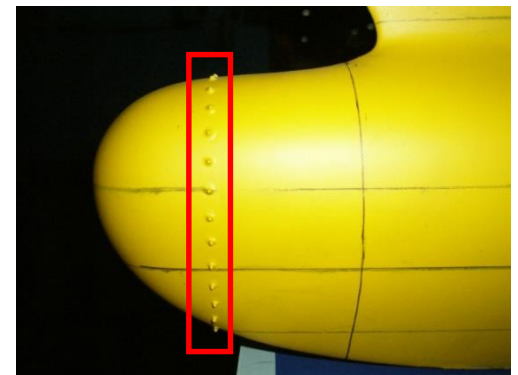
실선저항 추정

✚ 실선의 저항 추정 법: 근본적으로 Froude방법과 같으나 실선으로 확장하는 방법에 있어서 다소 다른 여러가지 방법이 있음

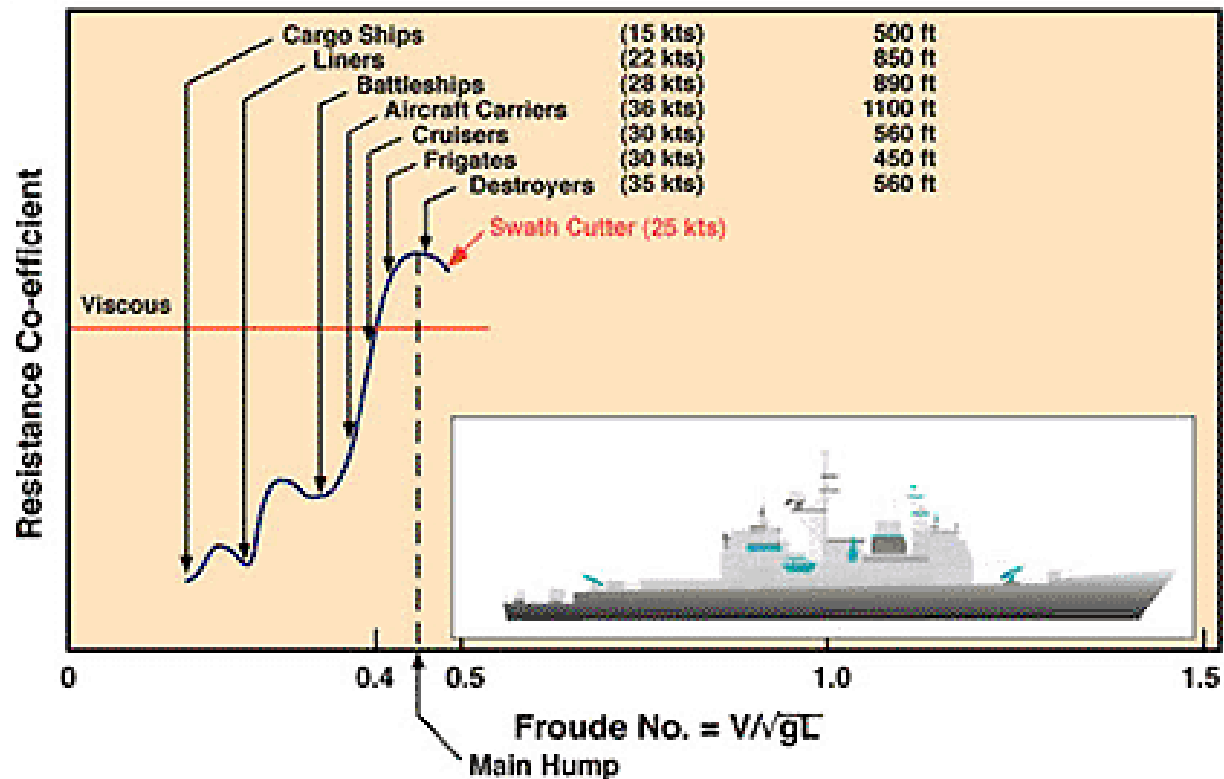
- Froude 방법
- Telfer 방법
- ITTC 1957 방법
- Hughes 방법
- Prohaska 방법
- ITTC 1978 방법

난류촉진장치

- 실선에 비하여 비교적 작은 Reynolds 수에서 모형실험 수행함
- 일반적으로 사용하는 방법은 스테드이며, 직경 약 $3mm$, 높이 $3mm$ 의 원통형을 $25mm$ 의 등 간격으로 부착하는 것을 권장
- 선수부 부근(l_{pp} 의 5% 이내)에 부착
- 벌브(bulb)가 없을 경우는 선수 형상에 평행하게 부착
- 벌브가 있을 경우는 벌브의 중앙과 19 혹은 19.5스테이션 2 지점에 수직으로 평행하게 부착 함



Ships VS Fn



ITTC 1957

- 선박 마찰저항 추정을 위한 모형선-실선 상관 곡선

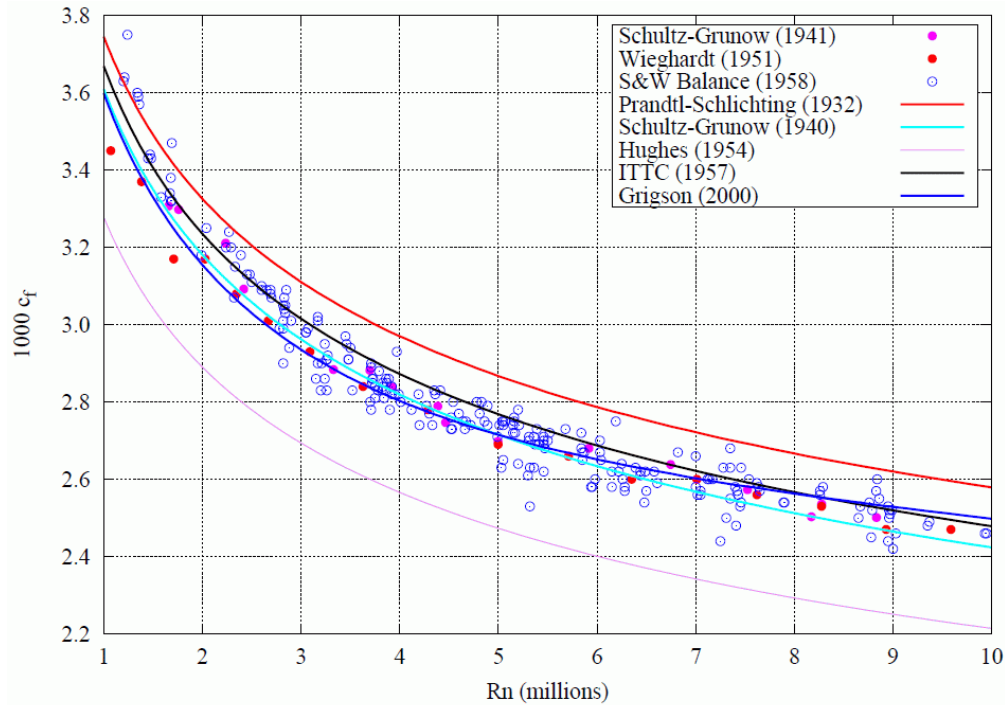


Figure 4: Local skin-friction coefficients at mid Rn .

$$C_F = \frac{0.075}{(\log_{10} Rn - 2)^2}$$

ITTC 1957

- 일정한 축척비 λ 로 만들어진 모형선을 사용하여 실선과 모형선의 Froude 수가 같은 속도에서 모형선의 전 저항(R_{TM})을 측정

- 모형선 전 저항 계수
$$C_{TM} = \frac{R_{TM}}{0.5\rho_M V_M^2 S_M}$$

- 모형선의 잉여저항 계수
$$C_{RM} = C_{TM} - C_{FM}$$

- 실선 잉여저항
$$C_{RS} = C_{RM}$$

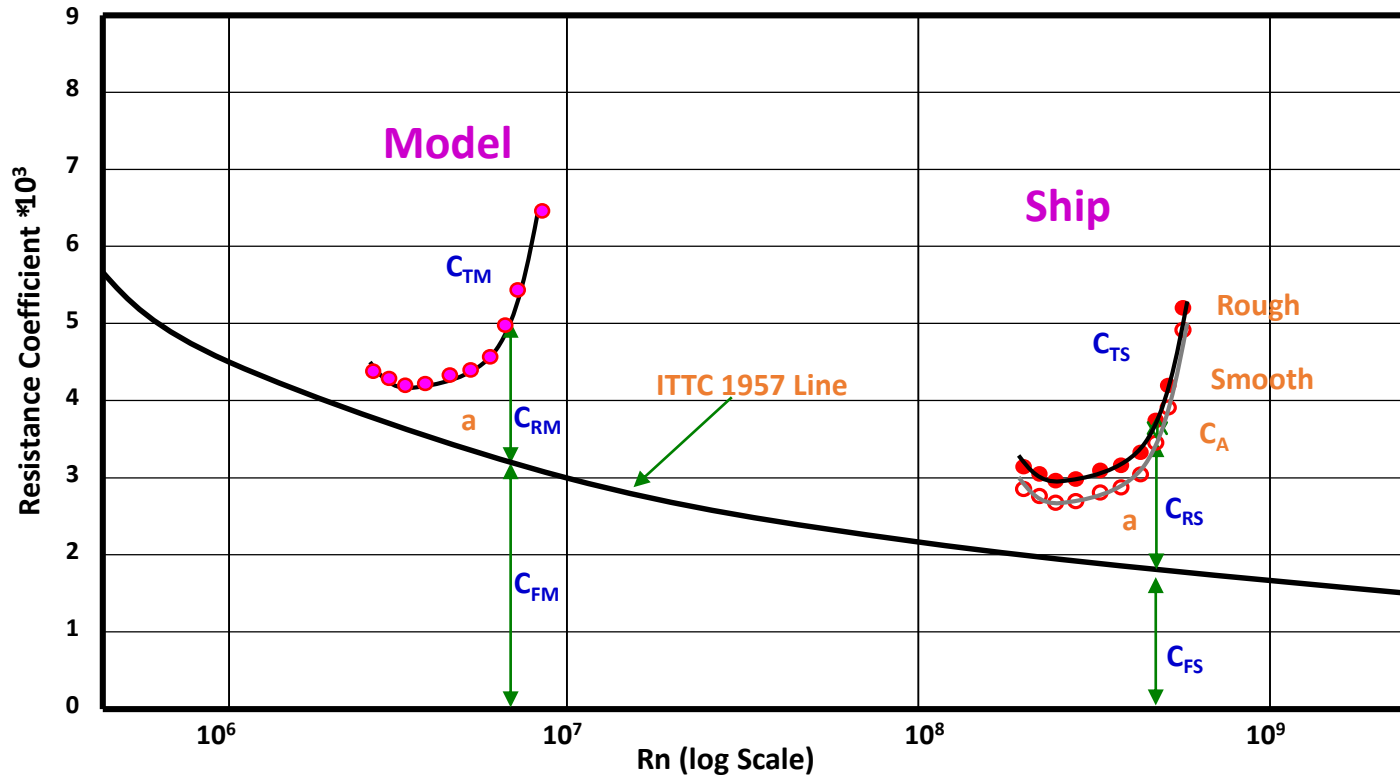
ITTC 1957

- 실선 마찰저항 계수(C_{FS})
$$C_F = \frac{0.075}{(\log_{10} Rn - 2)^2}$$
- 실선 전저항 계수
$$C_{TS} = C_{FS} + C_{RM} + C_A$$
- 모형선-실선 상관수정계수(C_A , model-ship correlation allowance)

배수량 (displacement)	C_A
1,000 ton	0.6×10^{-3}
10,000 ton	0.4×10^{-3}
100,000 ton	0
1,000,000 ton	-0.6×10^{-3}

ITTC 1957

- 실선 전 저항 $R_{TS} = (0.5\rho_S V_S^2 S_S) C_{TS}$



선박 주요 요목 (예)

Loading condition	Sea Trial		Full load	
L.O.A (m)	62.2		62.2	
L.P.P (m)	56.31		56.4	
L.W.L (m)	56.31		56.4	
B (m)	9.1		9.1	
D (m)	5		5	
T _M (m)	2.5		2.6	
Displacement(m ³)	601.2 (w/ B.K)	600.4 (w/o B.K)	638.4 (w/ B.K)	638.6 (w/o B.K)
WSA(m ²)	527.07 (w/ B.K)	503.37 (w/o B.K)	539.17 (w/ B.K)	515.47 (w/o B.K)
A _T	65.33		64.47	
C _B	0.42486	0.42429	0.45115	0.45129

저항 시험 항목

시험종류	시험조건	부가물	비고
나선저항	1 Draft × 11 Speeds	Center Skeg Stern Wedge Spray Strip	Sea Trial, 2.5m
유선조사시험	1 Draft × 1 Speed	Center Skeg Stern Wedge Spray Strip	Sea Trial, 2.5m 35 knots
부가물 부착 저항	2 Drafts × 11 Speeds	Center Skeg Stern Wedge Spray Strip Bilge Keel	Sea Trial, 2.5m Full Load, 2.6m

Test Data : 2006. 10. 13

Ship Dimension

Temp(Tank W.)	19.50	deg		Ship	Model
Standard Temp	15.00	deg	Scale	1.00	13.00
Mass Dens(Tank W.)	998.2	kg/m3	LWL (m)	56.31	4.33
Mass Dens(Sea W.)	1025.89	kg/m3	B (m)	9.10	0.70
Kin. Visco.(Tank W.)	1.0162E-06	m2/s	Draft (m)	2.50	0.19
Kin. Visco.(Sea W.)	1.1883E-06	m2/s	S (m2)	503.37	2.9785
			Avt (m2)	65.33	

$$CTM = CFM + CR$$

$$CTS = CFS + CA + CR + CAA$$

$$\text{Correl. Allow(2-D): } CA = 0.0004$$

$$\text{Air resistance : } CAA = 0.000103828 \quad (\text{NAVSEC})$$

w/o Bilge keel res.

VS (knot)	VM (m/s)	Fn	RNM	RTM	CTM	CFM	CR
10	1.43	0.22	6.081E+06	23.88	7.891E-03	3.277E-03	4.614E-03
15	2.14	0.33	9.122E+06	61.46	9.028E-03	3.048E-03	5.980E-03
20	2.85	0.44	1.216E+07	123.04	1.017E-02	2.901E-03	7.266E-03
23	3.28	0.50	1.399E+07	157.54	9.842E-03	2.832E-03	7.010E-03
25	3.57	0.55	1.520E+07	173.64	9.182E-03	2.793E-03	6.389E-03
28	3.99	0.61	1.703E+07	191.48	8.071E-03	2.741E-03	5.331E-03
30	4.28	0.66	1.824E+07	197.91	7.267E-03	2.710E-03	4.558E-03
33	4.71	0.72	2.007E+07	210.36	6.384E-03	2.667E-03	3.716E-03
35	4.99	0.77	2.128E+07	219.91	5.933E-03	2.642E-03	3.291E-03
37	5.28	0.81	2.250E+07	239.22	5.775E-03	2.618E-03	3.157E-03

VS (knot)	VS (m/s)	Fn	RNS	CFS	CTS	RTS (KN)	PE (PS)
10	5.14	0.22	2.438E+08	1.839E-03	6.956E-03	48	333
15	7.72	0.33	3.657E+08	1.741E-03	8.225E-03	126	1327
20	10.29	0.44	4.876E+08	1.677E-03	9.446E-03	258	3613
23	11.83	0.50	5.607E+08	1.647E-03	9.160E-03	331	5329
25	12.86	0.55	6.094E+08	1.629E-03	8.522E-03	364	6366
28	14.40	0.61	6.826E+08	1.606E-03	7.440E-03	399	7809
30	15.43	0.66	7.313E+08	1.592E-03	6.653E-03	409	8588
33	16.98	0.72	8.045E+08	1.573E-03	5.793E-03	431	9953
35	18.01	0.77	8.532E+08	1.561E-03	5.356E-03	448	10978
37	19.03	0.81	9.020E+08	1.550E-03	5.211E-03	487	12619

