



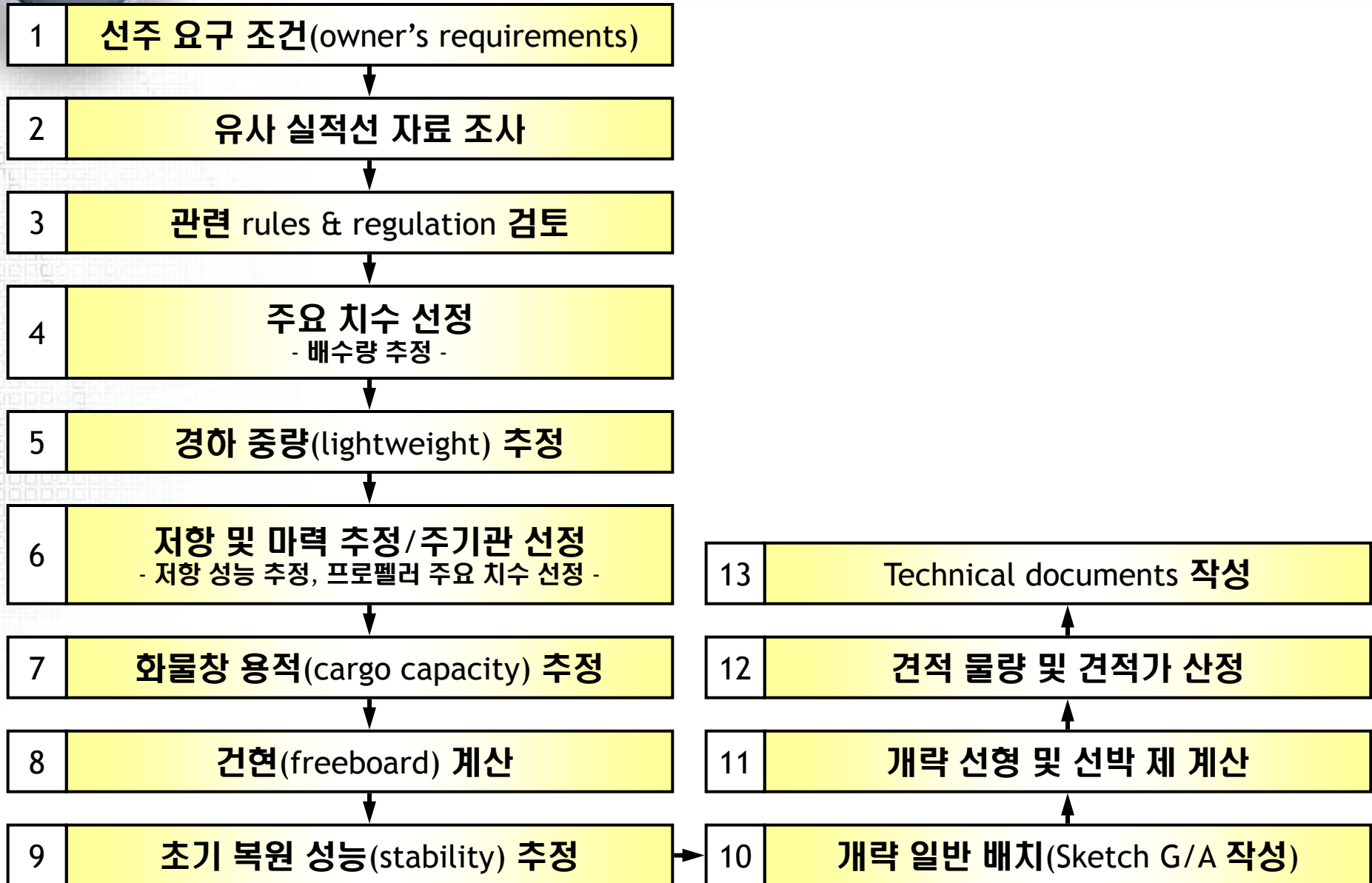
Estimation of Resistance (저항 추정)

2008.4

서울대학교 조선해양공학과
이규열

선박 개념 설계의 순서

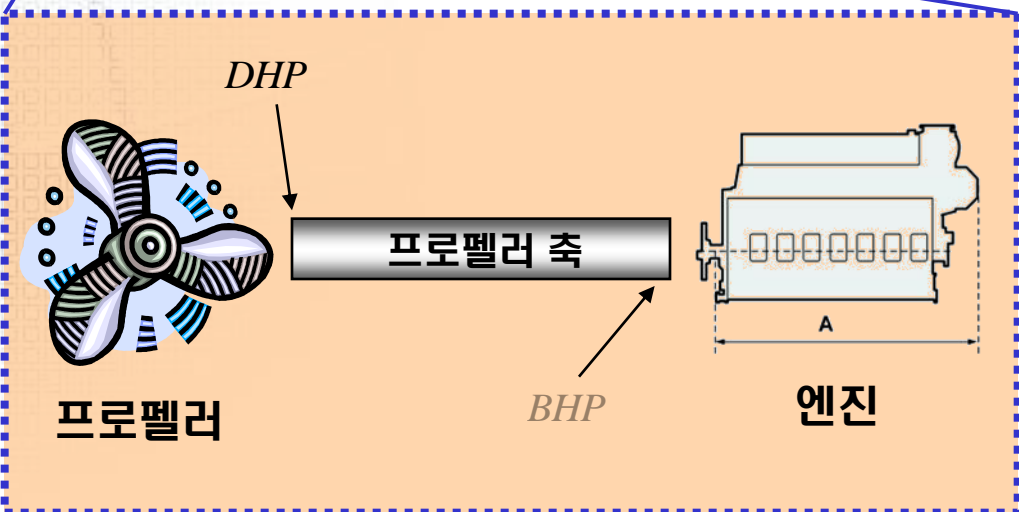
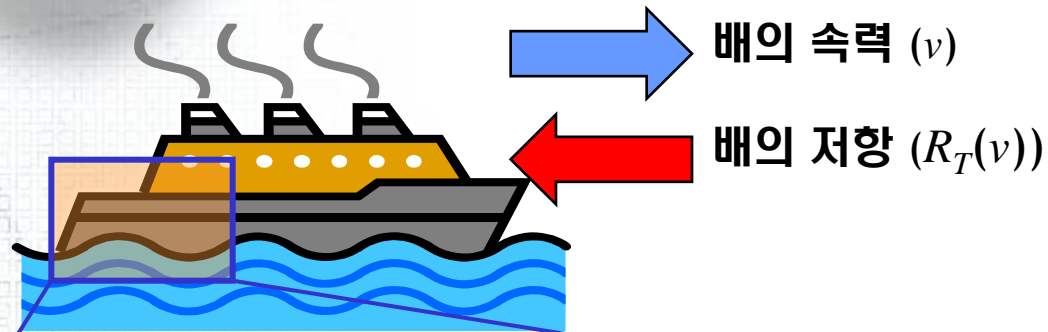
| | |
|--------|--------------|
| PART 1 | 선박의 개요 |
| | 선박의 종류 |
| | 조선 주요 과정 |
| | 선박 개념 설계 |
| | VLCC 개념 설계 예 |



6. 저항, 마력 추정(1)

- 주기관 마력 추정

| | | |
|------------------|------------------------|----------------------------|
| 개 념 설 계 | 1. 선주 요구 조건 | 7. 화물창 용적 추정 |
| | 2. 유사 실적선 조사 | 8. 건현 계산 |
| | 3. 관련 Rule | 9. 복원 성능 추정 |
| | 4. 주요 치수 선정 | 10. 개략 일반배치 |
| | 5. 경하 중량 추정 | 11. 개략 선형 및 선박 재 계산 |
| | 6. 저항 및 마력 추정 / 주기관 선정 | 12. 견적 물량 및 견적가 산정 |
| | | 13. Technical documents 작성 |



- ① EHP (Effective Horse Power)

$$EHP = R_T(v) \cdot v \quad (\text{In Calm Water})$$
- ② DHP (Delivered Horse Power)

$$DHP = \frac{EHP}{\eta_D} \quad (\eta_D: \text{추진효율})$$
- ③ BHP (Brake Horse Power)

$$BHP = \frac{EHP}{\eta_T} \quad (\eta_T: \text{축전달 효율})$$
- ④ NCR (Normal Continuous Rating)

$$NCR = BHP \left(1 + \frac{\text{Sea Margine}}{100} \right)$$
- ⑤ DMCR (Derated Maximum Continuous Rating)

$$MCR = \frac{NCR}{\text{Engine Margin}}$$



6. 저항, 마력 추정(2)

- 주기관 마력 추정

| | | |
|-----------------------|----------------------------|---------------------|
| 개 념 설 계 | 1. 선주 요구 조건 | 7. 화물창 용적 추정 |
| | 2. 유사 실적선 조사 | 8. 건현 계산 |
| | 3. 관련 Rule | 9. 복원 성능 추정 |
| | 4. 주요 치수 선정 | 10. 개략 일반배치 |
| | 5. 경하 중량 추정 | 11. 개략 선형 및 선박 재 계산 |
| | 6. 저항 및 마력 추정 / 주기관 선정 | 12. 견적 물량 및 견적가 산정 |
| | 13. Technical documents 작성 | |
| 마 력 주 기 관 | 저항 및 마력 추정 | |
| | 프로펠러 주요 치수 | |
| | 주기관 선정 | |

- Admiralty계수에 의한 주기관 마력 개략 추정

$$Cad = \Delta^{2/3} \cdot V^3 / DHP$$

Δ in ton, V in kts, DHP in PS

Δ : 배수량(ton)
 V : 선속(Knots)
 DHP : 전달마력(PS)
 (Delivered Horse Power)

기관 마력 추정 과정

- 선박의 주요 치수를 토대로 한 정수 중의 저항(Resistance in calm water) 추정
 - 계열 모형 시험 자료, 실험 결과의 통계적 추정식(Holtrop & Mennen의 방법 등)을 이용하여 추정함

2. 정수중의 유효 마력(EHP; Effective Horse Power) 계산

$$= R_T \cdot V$$

3. 추진계수 추정

$$\eta_D : \text{Propulsive Efficiency(추진 효율)} = \eta_O \times \eta_H \times \eta_R$$



저항(Resistance)의 의미 및 분류

| | | |
|------------------|------------------------|----------------------------|
| 개 념 설 계 | 1. 선주 요구 조건 | 7. 화물창 용적 추정 |
| | 2. 유사 실적선 조사 | 8. 건현 계산 |
| | 3. 관련 Rule | 9. 복원 성능 추정 |
| | 4. 주요 치수 선정 | 10. 개략 일반배치 |
| | 5. 경하 중량 추정 | 11. 개략 선형 및 선박 재 계산 |
| | 6. 저항 및 마력 추정 / 주기관 선정 | 12. 견적 물량 및 견적가 산정 |
| | | 13. Technical documents 작성 |
| | 마 력 주 기 관 | 저항 및 마력 추정 |
| | | 프로펠러 주요 치수 |
| | | 주기관 선정 |

■ 저항

- 선박이 일정한 속력으로 움직이기 위해서 이겨내야 하는 힘
- 여러 가지 성분으로 구성되어 있음

■ Froude에 의한 저항의 분류

- 전저항(R_T) = 마찰 저항(R_F) + 잉여 저항(R_R) + 실선 상관 수정량(ΔR_F)

■ Hughes에 의한 저항의 분류

- 전저항(R_T) = 점성 저항(R_V) + 조파 저항(R_W)
- 점성 저항: 선체 표면을 흐르는 물의 점성 때문에 생기는 저항
- 조파 저항: 선박의 전진으로 인해 선체 주위의 물결의 발생에 소요되는 에너지에 상당하는 저항

점성 저항 및 마찰 저항의 계산 방법(1)

| | | |
|------------------|------------------------|----------------------------|
| 개 념 설 계 | 1. 선주 요구 조건 | 7. 화물창 용적 추정 |
| | 2. 유사 실적선 조사 | 8. 건현 계산 |
| | 3. 관련 Rule | 9. 복원 성능 추정 |
| | 4. 주요 치수 선정 | 10. 개략 일반배치 |
| | 5. 경하 중량 추정 | 11. 개략 선형 및 선박 재 계산 |
| | 6. 저항 및 마력 추정 / 주기관 선정 | 12. 견적 물량 및 견적가 산정 |
| | | 13. Technical documents 작성 |
| | 마력 주기관 | 저항 및 마력 추정 |
| | | 프로펠러 주요 치수 |
| | | 주기관 선정 |

1) 점성 저항 (R_V)

$$R_V = (1 + k) R_F + \Delta R_F$$

2) 마찰 저항 (R_F)

(R_F) : 선체 부분의 침수 면적과 같은 면적을 갖는 평판의 마찰 저항

$$R_F [kN] = 1/2 \rho C_F \cdot V_2 \cdot S$$

여기서,

ρ : 해수의 밀도 = 1.025(Mg/m³)

C_F : 평판 마찰 저항 계수

$V [m / s]$: 선박의 속력

$S [m^2]$: 침수 표면적

점성 저항 및 마찰 저항의 계산 방법(2)

| | | |
|-----------------------|----------------------------|---------------------|
| 개 념 설 계 | 1. 선주 요구 조건 | 7. 화물창 응적 추정 |
| | 2. 유사 실적선 조사 | 8. 건현 계산 |
| | 3. 관련 Rule | 9. 복원 성능 추정 |
| | 4. 주요 치수 선정 | 10. 개략 일반배치 |
| | 5. 경하 중량 추정 | 11. 개략 선형 및 선박 재 계산 |
| | 6. 저항 및 마력 추정 / 주기관 선정 | 12. 견적 물량 및 견적가 산정 |
| | 13. Technical documents 작성 | |
| 마 력 주 기 관 | 저항 및 마력 추정 | |
| | 프로펠러 주요 치수 | |
| | 주기관 선정 | |

3) 평판 마찰 저항 계수(C_F)

- ITTC(International Towing Tank Committee) 1957 추정식 :

$$C_F = \frac{0.075}{(\log R_n - 2)^2}$$

여기서,

$$R_n = V \cdot L / \nu \quad : \text{Reynolds Number}$$

$$\nu \quad : \text{동점성 계수} = 1.1883 \times 10^{-6} (\text{m}^2/\text{s}) \text{ at } 15^\circ \text{ C Sea Water}$$

점성 저항 및 마찰 저항의 계산 방법(3)

| | | |
|-------|----------------------------|---------------------|
| 개념설계 | 1. 선주 요구 조건 | 7. 화물창 용적 추정 |
| | 2. 유사 실적선 조사 | 8. 건현 계산 |
| | 3. 관련 Rule | 9. 복원 성능 추정 |
| | 4. 주요 치수 선정 | 10. 개략 일반배치 |
| | 5. 경하 중량 추정 | 11. 개략 선형 및 선박 재 계산 |
| | 6. 저항 및 마력 추정 / 주기관 선정 | 12. 견적 물량 및 견적가 산정 |
| | 13. Technical documents 작성 | |
| 마력주기관 | 저항 및 마력 추정 | |
| | 프로펠러 주요 치수 | |
| | 주기관 선정 | |

- Schoenherr 의 마찰 저항 계수 추정식 :

$$0.242 / \sqrt{C_F} = \log_{10} (R_n \cdot C_F)$$

근사적으로 $C_F = 0.463 \cdot \log_{10} R_n^{-2.6}$

4) 표면 조도에 의한 마찰 저항의 증가(ΔR_F)

- 완전히 매끄러운 표면과 비교해서 표면 조도에 기인하는 마찰 저항의 증가분을 의미
- 모형선-실선 상관 수정량(Model-Ship Correlation Allowance)에 포함되는 것으로 간주
- 모형선-실선 상관 수정량이란 수조 모형 시험으로부터 추정된 실선의 저항값을 실선 시운전 계측 결과로부터 결정된 실선 저항과 일치하도록 보정하는 데 필요한 양

5) 조파 저항 $R_w = f(L/B, B/T, C_b, F_n, LCB)$ 조파 저항은 선박의 형상에 따라 변함

Froude와 Hughes에 의한 저항 계산 방법

| | | |
|-----------------------|----------------------------|---------------------|
| 개 념 설 계 | 1. 선주 요구 조건 | 7. 화물창 용적 추정 |
| | 2. 유사 실적선 조사 | 8. 건현 계산 |
| | 3. 관련 Rule | 9. 복원 성능 추정 |
| | 4. 주요 치수 선정 | 10. 개략 일반배치 |
| | 5. 경하 중량 추정 | 11. 개략 선형 및 선박 재 계산 |
| | 6. 저항 및 마력 추정 / 주기관 선정 | 12. 견적 물량 및 견적가 산정 |
| | 13. Technical documents 작성 | |
| 마 력 주 기 관 | 저항 및 마력 추정 | |
| | 프로펠러 주요 치수 | |
| | 주기관 선정 | |

2-D (Froude) method $C_{RS}=C_{RM}$

3-D (Hughes) method $C_{WS}=C_{WM}$

Measured Values [V_M, RT_M]

$$CT_M = RT_M / (0.5 r_M S_M V_M^2)$$

$$CF_M = 0.075 / (\log Rn_M - 2)^2$$

$$CR_M = CT_M - CF_M$$

$$CW_M = CT_M - CF_M (1+k)$$

$$CF_S = 0.075 / (\log Rn_S - 2)^2$$

$$CT_S = CR_S + CF_S + C_A + C_{AA}$$

$$CT_S = CW_S + CF_S(1+k) + \Delta CF + C_{AA}$$

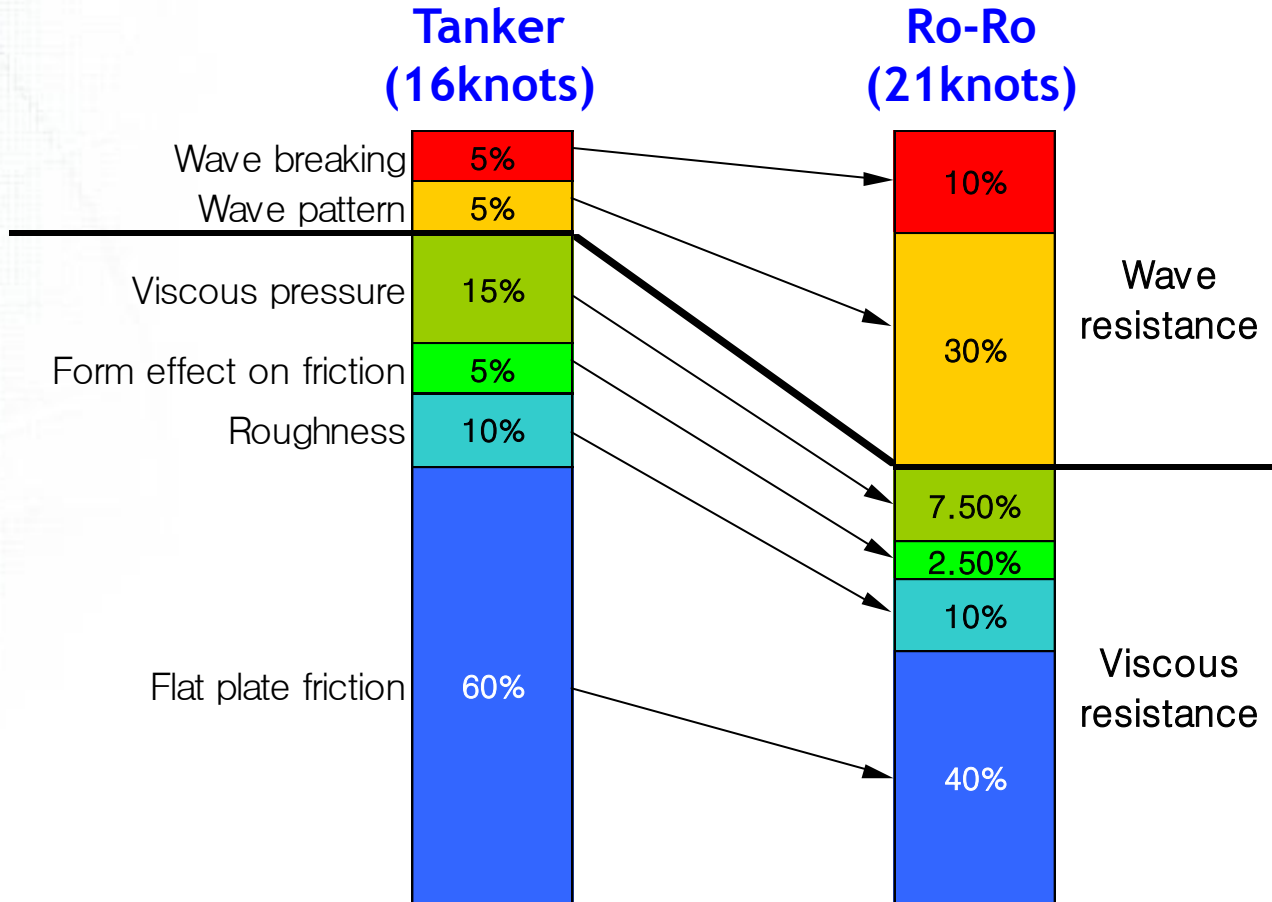
$$RT_S = CT_S \cdot 0.5 r_s S_s V_s^2$$

$$EHP = RT_S V_s$$

선종에 따른 저항의 성분별 분포도

| | | |
|------------------|------------------------|----------------------------|
| 개 념 설 계 | 1. 선주 요구 조건 | 7. 화물창 응적 추정 |
| | 2. 유사 실적선 조사 | 8. 건현 계산 |
| | 3. 관련 Rule | 9. 복원 성능 추정 |
| | 4. 주요 치수 선정 | 10. 개략 일반배치 |
| | 5. 경하 중량 추정 | 11. 개략 선형 및 선박 재 계산 |
| | 6. 저항 및 마력 추정 / 주기관 선정 | 12. 견적 물량 및 견적가 산정 |
| | | 13. Technical documents 작성 |

| | |
|-----------------------|------------|
| 마 력 주 기 관 | 저항 및 마력 추정 |
| | 프로펠러 주요 치수 |
| | 주기관 선정 |

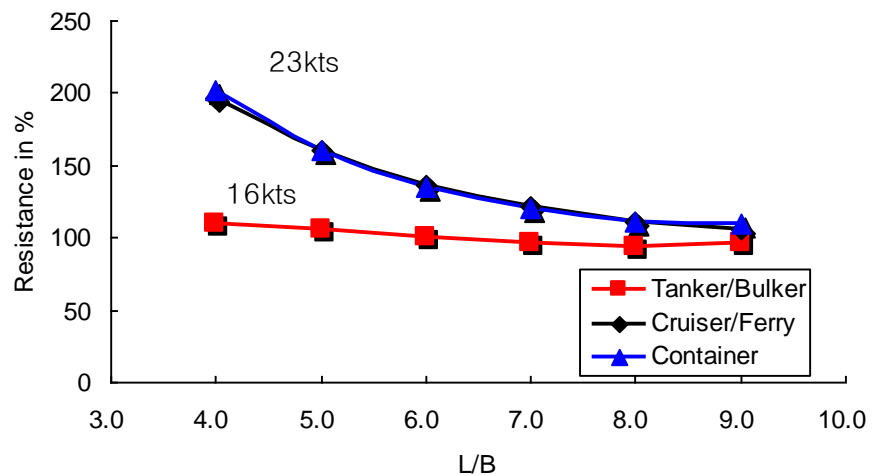


주요 치수에 따른 저항의 변화

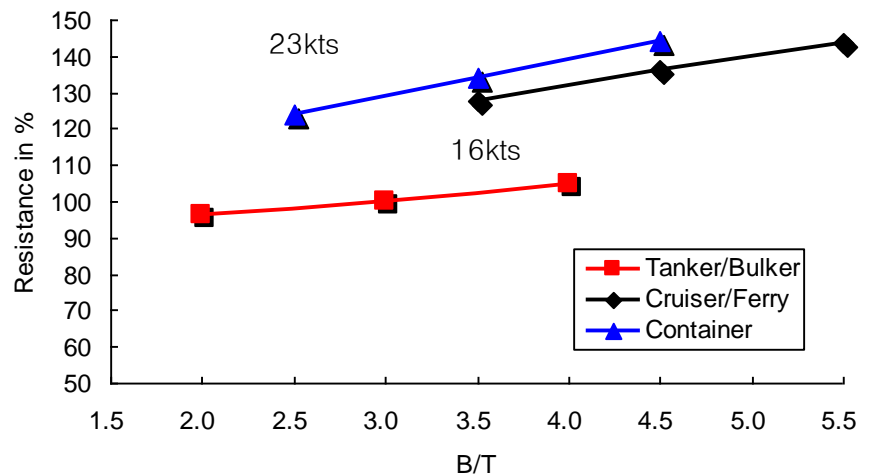
■ L/B의 값이 증가할 수록
(선형이 날씬할 수록)
저항이 감소함

■ B/T의 값이 증가할 수록
(선형이 뚱뚱할 수록)
저항이 증가함

Resistance Change by L/B Ratio



Resistance Change by B/T Ratio



초기 단계에서의 저항 추정

| | | |
|------|------------------------|----------------------------|
| 개념설계 | 1. 선주 요구 조건 | 7. 화물창 용적 추정 |
| | 2. 유사 실적선 조사 | 8. 건현 계산 |
| | 3. 관련 Rule | 9. 복원 성능 추정 |
| | 4. 주요 치수 선정 | 10. 개략 일반배치 |
| | 5. 경하 중량 추정 | 11. 개략 선형 및 선박 재 계산 |
| | 6. 저항 및 마력 추정 / 주기관 선정 | 12. 견적 물량 및 견적가 산정 |
| | | 13. Technical documents 작성 |

| | |
|-------|------------|
| 마력주기관 | 저항 및 마력 추정 |
| | 프로펠러 주요 치수 |
| | 주기관 선정 |

주요 치수의 결정

부력 - 중량 일치 조건

$$\Delta = L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \rho \cdot (1 + \alpha) = LWT + DWT$$

$$W_S = C_S \cdot L^{1.6} (B + D)$$

$$W_O = C_O \cdot L \cdot B$$

$$W_M = C_M \cdot NMCR$$

선체의 저항



기관 출력

* W_S : 선각 중량

* W_O : 의장 중량

* W_M : 기관 중량

선체 저항과 기관 출력의 관계

$$MCR = NCR / \text{Engine Margin}$$

$$NCR = BHP \cdot (1 + \text{Sea Margin}) / 100$$

$$BHP = DHP / \eta_T$$

$$DHP = EHP / \eta_D$$

$$\eta_D = \eta_H \cdot \eta_R \cdot \eta_O, \quad \eta_H = \frac{1 - t}{1 - w}$$

$$EHP = R_T \cdot V$$

$$R_T = \frac{1}{2} \rho S V^2 C_T$$

$$C_T = C_F + C_R + C_A \quad \rightarrow \text{Froude 방법, 1957 ITTC 방법}$$

$$C_T = (1 + k)C_F + C_W + \Delta C_F + \Delta C_A \quad \rightarrow \text{Hughes 방법, 1978 ITTC 방법}$$

MCR: 최대 연속 마력 (Maximum Continuous Rating)
NCR: 연속 상용 마력 (Normal Continuous Rating)
BHP: 제동 마력 (Brake Horse Power)
DHP: 전달 마력 (Delivered Horse Power)
EHP: 유효 마력 (Effective Horse Power)
R_T: 전저항 (Total Resistance)
S: 침수 표면적
V: 속력
C_T: 전저항 계수
1+k: 형상 계수 (Form Factor)
η_T: 프로펠러 전달 계수 (Transmission Efficiency)
η_D: 추진 계수 (Propulsive Efficiency)
η_O: 프로펠러 효율 (Propeller Efficiency)
η_H: 선각 효율 (Hull Efficiency)
η_R: 상대 회전 효율 (Relative Rotative Efficiency)
t: 추력 감소 계수 (Thrust Deduction Fraction)
w: 반력 계수 (Wake Fraction)

통계적 방법에 의한 저항 및 마력의 추정

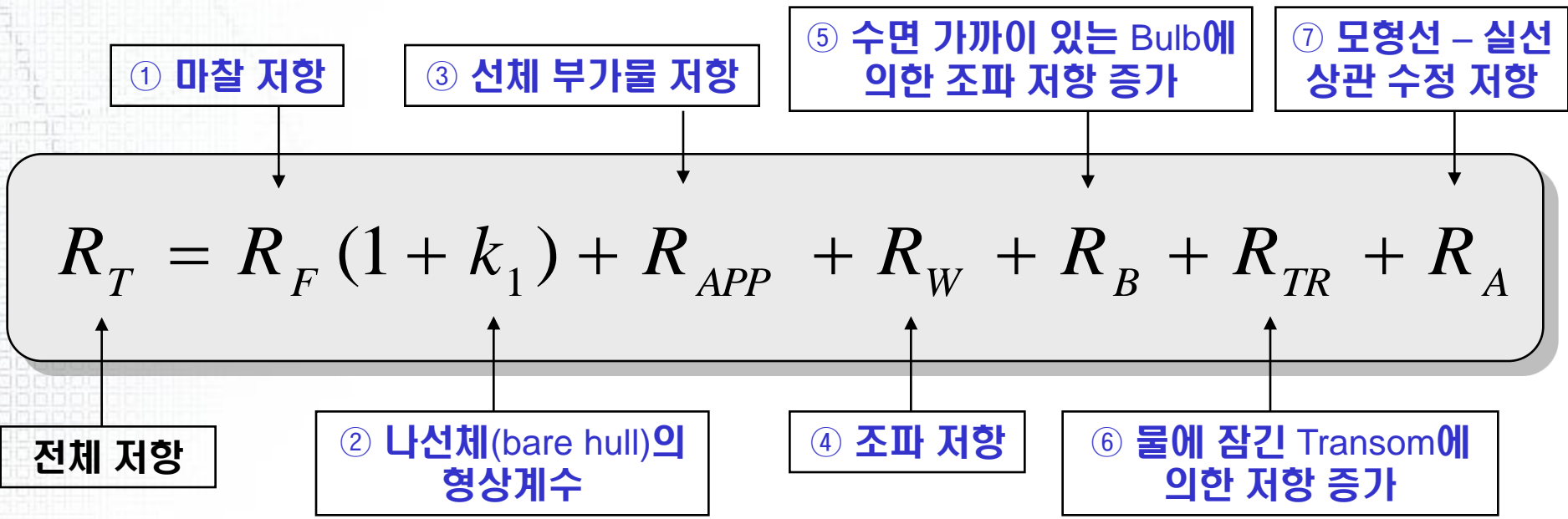
- 초기 설계 단계에서는 통계적인 방법을 이용하여 저항 및 마력을 개략적으로 추정함
- 저항 및 마력 추정을 위한 통계적 방법
 - Holtrop & Mennen 방법
 - 기준선 자료에 의한 저항 성능 추정

Holtrop & Mennen의 저항 추정 방법

| | | |
|------|----------------------------|---------------------|
| 개념설계 | 1. 선주 요구 조건 | 7. 화물창 용적 추정 |
| | 2. 유사 실적선 조사 | 8. 건현 계산 |
| | 3. 관련 Rule | 9. 복원 성능 추정 |
| | 4. 주요 치수 선정 | 10. 개략 일반배치 |
| | 5. 경하 중량 추정 | 11. 개략 선형 및 선박 재 계산 |
| | 6. 저항 및 마력 추정 / 주기관 선정 | 12. 견적 물량 및 견적가 산정 |
| | 13. Technical documents 작성 | |

| | |
|-------|------------|
| 마력주기관 | 저항 및 마력 추정 |
| | 프로펠러 주요 치수 |
| | 주기관 선정 |

■ Holtrop & Mennen이 제안한 추정식



Holtrop & Mennen의 저항 추정 방법

- ① 마찰 저항

| | | |
|----------|----------------------------|---------------------|
| 개념 설계 | 1. 선주 요구 조건 | 7. 화물창 용적 추정 |
| | 2. 유사 실적선 조사 | 8. 건현 계산 |
| | 3. 관련 Rule | 9. 복원 성능 추정 |
| | 4. 주요 치수 선정 | 10. 개략 일반배치 |
| | 5. 경하 중량 추정 | 11. 개략 선형 및 선박 재 계산 |
| | 6. 저항 및 마력 추정 / 주기관 선정 | 12. 견적 물량 및 견적가 산정 |
| | 13. Technical documents 작성 | |

| | |
|---------------|------------|
| 마력 주기 관 | 저항 및 마력 추정 |
| | 프로펠러 주요 치수 |
| | 주기관 선정 |

$$R_F = \frac{1}{2} \rho V^2 C_F S_{bh}$$

C_F : 마찰계수 (ITTC 1957 추정식)

$$C_F = \frac{0.075}{(\log R_n - 2)^2}$$

$$R_n = \frac{V \cdot L}{\nu}$$

R_n 를 구할 때는 LWL (Length at Waterline)을 사용한다.

S_{bh} : 나선체 (Bare Hull)의 침수 표면적

$$S_{bh} = L(2T + B) \sqrt{C_M} (0.4530 + 0.4425C_B - 0.2862C_M - 0.003467B/T + 0.3696C_{WP}) + 2.38A_{BT} / C_B$$

이들 형상계수들은 모두가 수선 길이 L_{WL} 을 기준으로 한다.

Reynolds Number(Rn)의 의미

| | | |
|------------------|----------------------------|---------------------|
| 개 념 설 계 | 1. 선주 요구 조건 | 7. 화물창 용적 추정 |
| | 2. 유사 실적선 조사 | 8. 견현 계산 |
| | 3. 관련 Rule | 9. 복원 성능 추정 |
| | 4. 주요 치수 선정 | 10. 개략 일반배치 |
| | 5. 경하 중량 추정 | 11. 개략 선형 및 선박 재 계산 |
| | 6. 저항 및 마력 추정 / 주기관 선정 | 12. 견적 물량 및 견적가 산정 |
| | 13. Technical documents 작성 | |

| | |
|-----------------------|------------|
| 마 력 주 기 관 | 저항 및 마력 추정 |
| | 프로펠러 주요 치수 |
| | 주기관 선정 |

$$Rn = \frac{VL}{\nu}$$

Rn (Reynolds Number) : 유동의 관성력과 점성력의 비를 나타내는 무차원 수. 점성 유동의 특성을 나타냄

V : 유동 또는 물체의 특성 속도

L : 유동 또는 물체의 특성 길이

ν : 유체의 동점성 계수

$$\nu = 10\text{도 해수: } 1.35 \times 10^{-6}$$

$$15\text{도 해수: } 1.19 \times 10^{-6}$$

Froud Number(Fn)의 의미

| | | |
|------------------|----------------------------|---------------------|
| 개 념 설 계 | 1. 선주 요구 조건 | 7. 화물창 용적 추정 |
| | 2. 유사 실적선 조사 | 8. 건현 계산 |
| | 3. 관련 Rule | 9. 복원 성능 추정 |
| | 4. 주요 치수 선정 | 10. 개략 일반배치 |
| | 5. 경하 중량 추정 | 11. 개략 선형 및 선박 재 계산 |
| | 6. 저항 및 마력 추정 / 주기관 선정 | 12. 견적 물량 및 견적가 산정 |
| | 13. Technical documents 작성 | |

| | |
|-----------------------|------------|
| 마 력 주 기 관 | 저항 및 마력 추정 |
| | 프로펠러 주요 치수 |
| | 주기관 선정 |

$$F_n = \frac{V}{\sqrt{gL}}$$

Fn (Froude Number) : 유동의 관성력과 중력의 비를 나타내는 무차원 수. 표면파에 의한 물리적 특성을 잘 나타냄

V : 유동 또는 물체의 특성 속도

L : 유동 또는 물체의 특성 길이

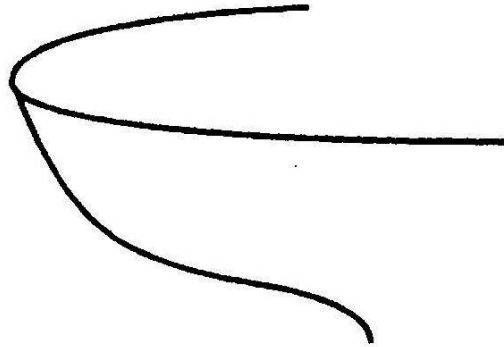
g : 중력 가속도

선미부의 형상

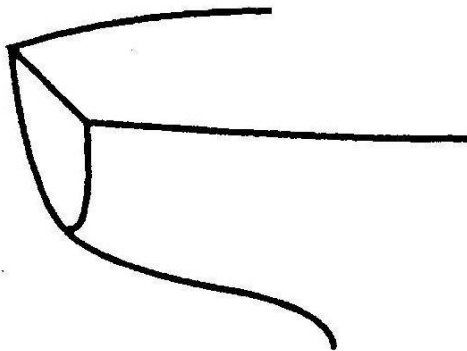
| | | |
|------------------|------------------------|----------------------------|
| 개 념 설 계 | 1. 선주 요구 조건 | 7. 화물창 용적 추정 |
| | 2. 유사 실적선 조사 | 8. 건현 계산 |
| | 3. 관련 Rule | 9. 복원 성능 추정 |
| | 4. 주요 치수 선정 | 10. 개략 일반배치 |
| | 5. 경하 중량 추정 | 11. 개략 선형 및 선박 재 계산 |
| | 6. 저항 및 마력 추정 / 주기관 선정 | 12. 견적 물량 및 견적가 산정 |
| | | 13. Technical documents 작성 |

선미부의 형상

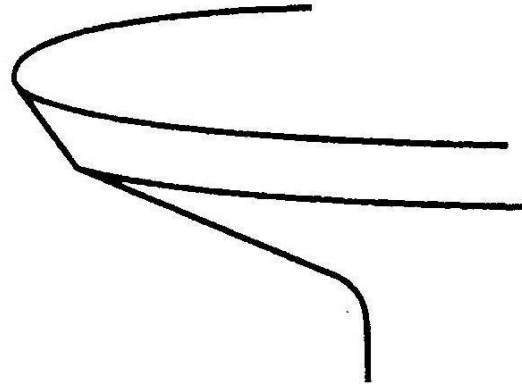
| | |
|-----------------------|------------|
| 마 력 주 기 관 | 저항 및 마력 추정 |
| | 프로펠러 주요 치수 |
| | 주기관 선정 |



(A) 순양함형 선미



(B) 트랜섬 선미

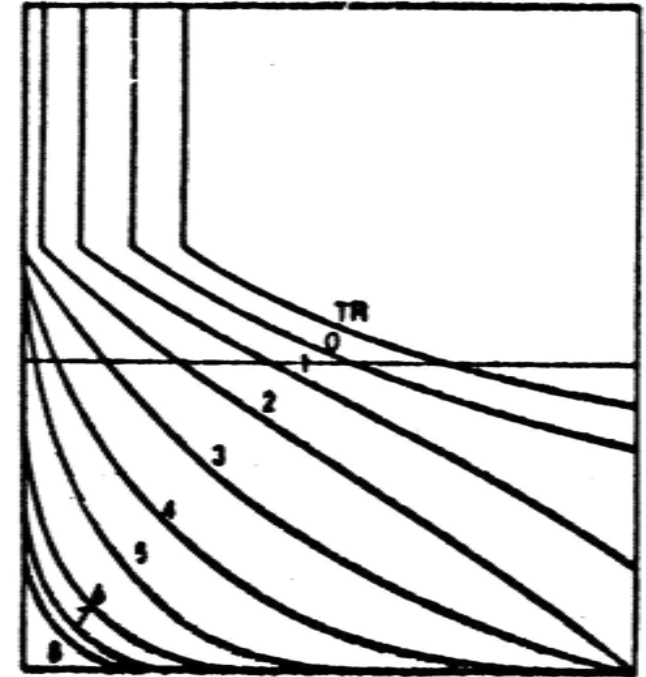
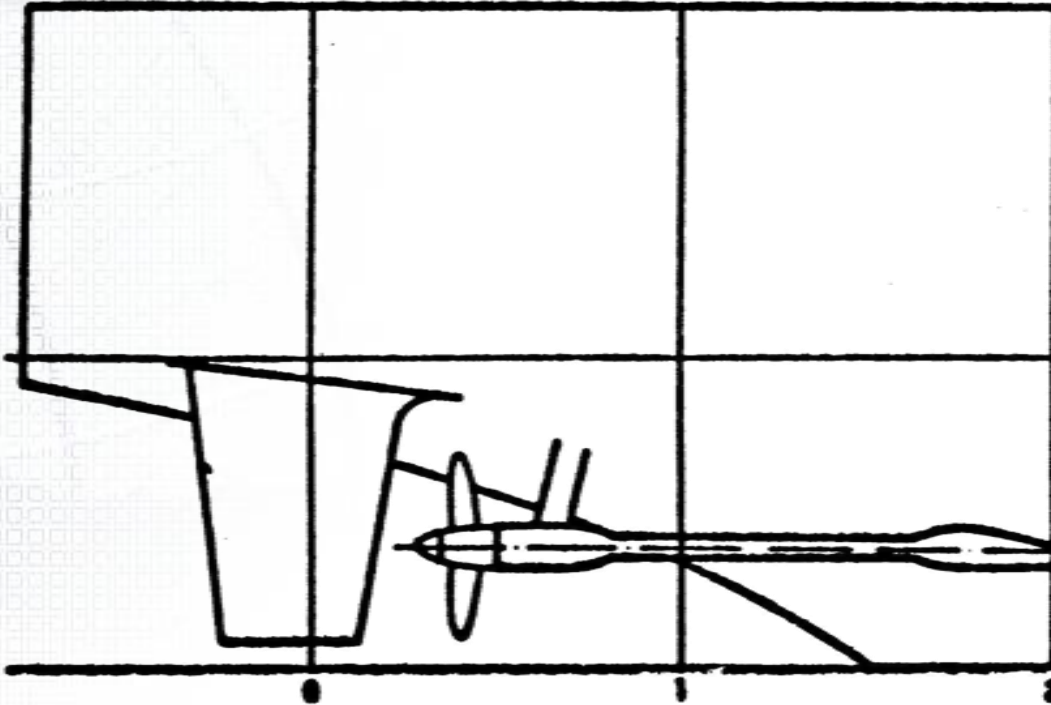


(C) 카운터 선미

선체 부가물

| | | |
|------------------|------------------------|----------------------------|
| 개 념 설 계 | 1. 선주 요구 조건 | 7. 화물창 용적 추정 |
| | 2. 유사 실적선 조사 | 8. 건현 계산 |
| | 3. 관련 Rule | 9. 복원 성능 추정 |
| | 4. 주요 치수 선정 | 10. 개략 일반배치 |
| | 5. 경하 중량 추정 | 11. 개략 선형 및 선박 재 계산 |
| | 6. 저항 및 마력 추정 / 주기관 선정 | 12. 견적 물량 및 견적가 산정 |
| | | 13. Technical documents 작성 |

| | |
|-----------------------|------------|
| 마 력 주 기 관 | 저항 및 마력 추정 |
| | 프로펠러 주요 치수 |
| | 주기관 선정 |

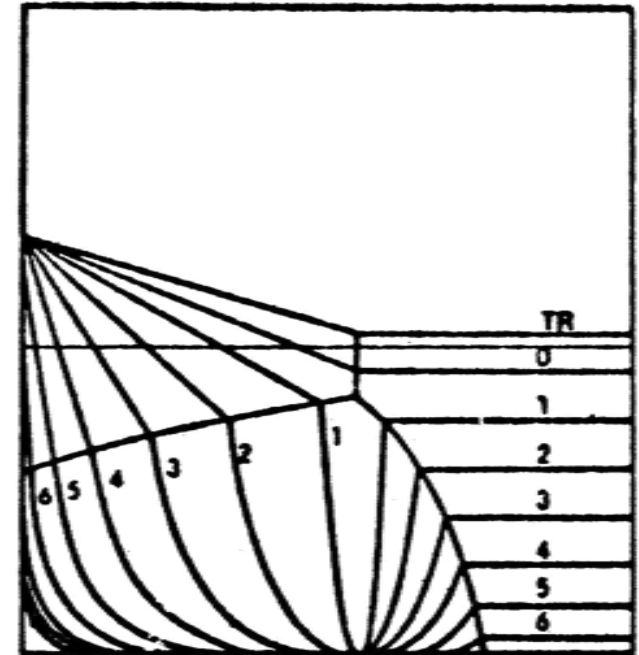
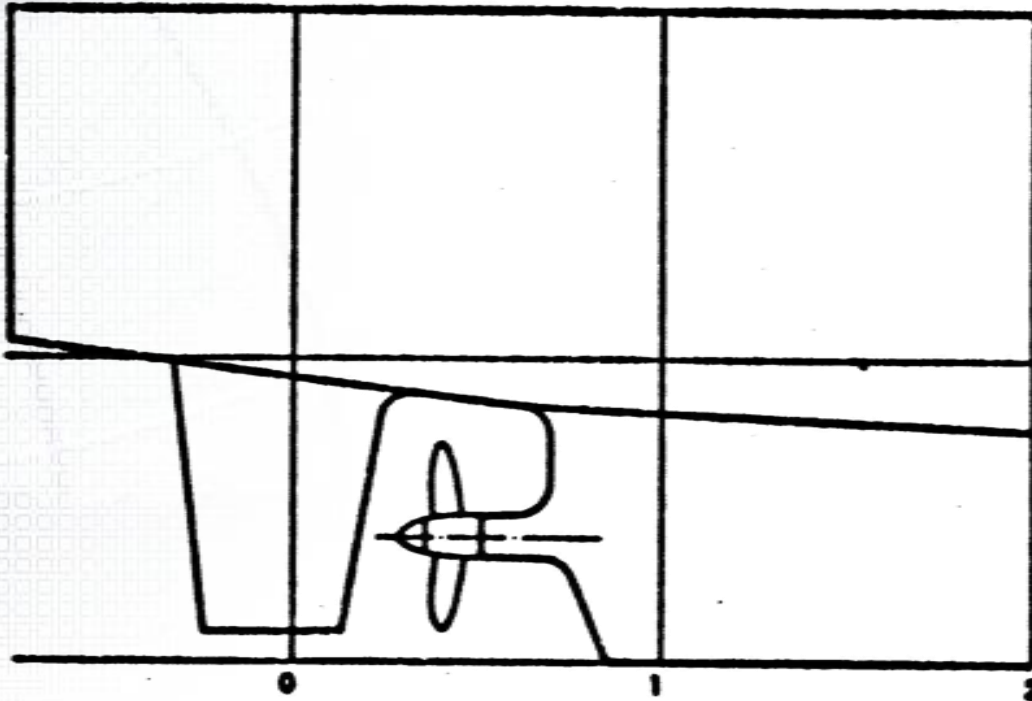


Conventional twin-screw after body hull form

선체 부가물

| | | |
|------|----------------------------|---------------------|
| 개념설계 | 1. 선주 요구 조건 | 7. 화물창 용적 추정 |
| | 2. 유사 실적선 조사 | 8. 건현 계산 |
| | 3. 관련 Rule | 9. 복원 성능 추정 |
| | 4. 주요 치수 선정 | 10. 개략 일반배치 |
| | 5. 경하 중량 추정 | 11. 개략 선형 및 선박 재 계산 |
| | 6. 저항 및 마력 추정 / 주기관 선정 | 12. 견적 물량 및 견적가 산정 |
| | 13. Technical documents 작성 | |

| | |
|-------|------------|
| 마력주기관 | 저항 및 마력 추정 |
| | 프로펠러 주요 치수 |
| | 주기관 선정 |



Twin-screw twin-skeg after body hull form

Holtrop & Mennen의 저항 추정 방법

- ② 나선체(bare hull)의 형상 계수

$$1 + k_1 = 0.93 + 0.487118 \cdot C_{14} (B / L)^{1.06806} (T / L)^{0.46106} (L / L_R)^{0.121563} \\ \times (L^3 / \nabla)^{0.36486} \cdot (1 - C_P)^{-0.60247}$$

C_F : 선미 단면 형상을 정의하는 계수

$$C_{14} = 1 + 0.011 C_{stern}$$

- $C_{stern} = -25$ Pram with gondola
- $= -10$ V형 단면
- $= 0$ 보통형 단면
- $= 10$ U형 단면

L_R : Length of run

L_R 이 알려져 있지 않은 경우에는 다음의 경험식으로 추정할 수 있다.

$$L_R / L = 1 - C_P + 0.06 C_P \cdot L_{CB} / (4 C_P - 1)$$

L_{CB} : 선체중양부로부터 선박의 길이 방향의 부력중심 위치까지의 거리를 선박의 길이에 대한 백분율(%)로 나타낸 값.
앞쪽을 (+) 뒤쪽을 (-)로 나타낸다.

형상 계수(k_1 , k_2)의 의미

- 마찰 저항은 같은 침수 표면적을 갖는 평판의 저항으로 측정 하지만 선체는 평판이 아닌 3차원 곡면 형상임
- 따라서 형상 계수는 곡면으로 된 선체라는 것에 의해 평판보다 증가하게 되는 점성 저항 성분을 보정해 주기 위한 계수임

$k_1 R_F$: 평판과 비교해 선체가 곡면이기 때문에 증가하는 점성 저항 성분

Holtrop & Mennen의 저항 추정 방법

- ③ 선체 부가물 저항

| | | |
|------|----------------------------|---------------------|
| 개념설계 | 1. 선주 요구 조건 | 7. 화물창 용적 추정 |
| | 2. 유사 실적선 조사 | 8. 건현 계산 |
| | 3. 관련 Rule | 9. 복원 성능 추정 |
| | 4. 주요 치수 선정 | 10. 개략 일반배치 |
| | 5. 경하 중량 추정 | 11. 개략 선형 및 선박 재 계산 |
| | 6. 저항 및 마력 추정 / 주기관 선정 | 12. 견적 물량 및 견적가 산정 |
| | 13. Technical documents 작성 | |

| | |
|-------|------------|
| 마력주기관 | 저항 및 마력 추정 |
| | 프로펠러 주요 치수 |
| | 주기관 선정 |

$$R_{APP} = 1 / 2 \rho V^2 S_{APP} (1 + k_2)_{eq} C_F$$

S_{APP} : 부가물의 침수 표면적

$(1 + k_2)$: 부가물의 형상 계수

- Rudder behind skeg: 1.5~2.0
- Rudder of single screw ship: 1.3~1.5
- Twin-screw balance rudders: 2.8
- Shaft brackets: 3.0
- Skeg: 1.5~2.0
- Strut bossings: 3.0
- Hull bossings: 2.0
- Shafts: 2.0~4.0
- Stabilizer fins: 2.8
- Dome: 2.7
- Bilge keels: 1.4

$(1 + k_2)_{eq}$: 부가물의 유효 형상 계수 - 한 개 또는 그 이상의 부가물일 경우

$$(1 + k_2)_{eq} = \frac{\sum S_i (1 + k_2)_i}{\sum S_i}$$

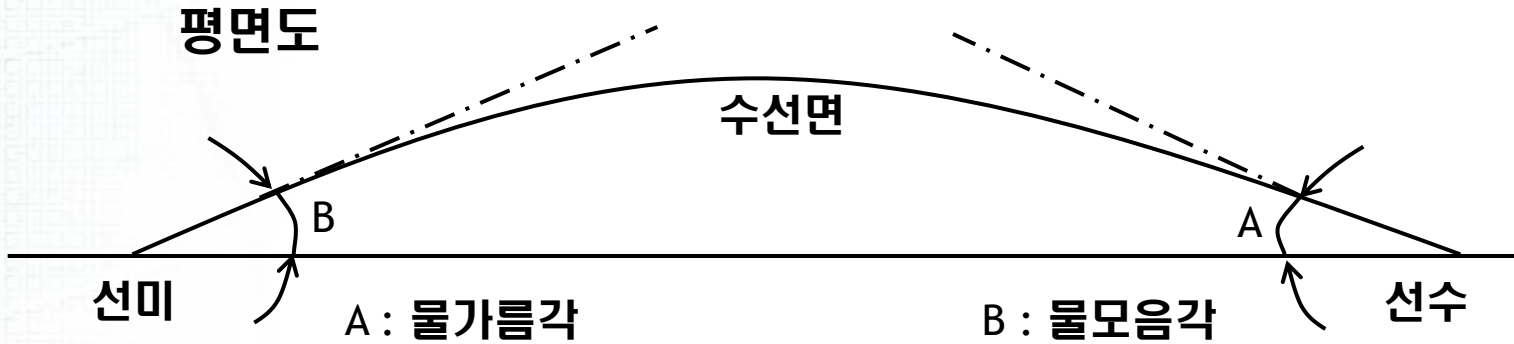
S_i 와 $(1+k_2)_i$ 는 i 번째 부가물의 침수표면적과 부가물 계수

물가름각(entrance angle)

| | | |
|------------------|------------------------|----------------------------|
| 개 념 설 계 | 1. 선주 요구 조건 | 7. 화물창 용적 추정 |
| | 2. 유사 실적선 조사 | 8. 건현 계산 |
| | 3. 관련 Rule | 9. 복원 성능 추정 |
| | 4. 주요 치수 선정 | 10. 개략 일반배치 |
| | 5. 경하 중량 추정 | 11. 개략 선형 및 선박 재 계산 |
| | 6. 저항 및 마력 추정 / 주기관 선정 | 12. 견적 물량 및 견적가 산정 |
| | | 13. Technical documents 작성 |

| | |
|-----------------------|------------|
| 마 력 주 기 관 | 저항 및 마력 추정 |
| | 프로펠러 주요 치수 |
| | 주기관 선정 |

물가름각(entrance angle)의 의미



물가름각: 물가름부의 수선의 접선이 선체 중심선과 이루는 각
 물모음각: 물모음부의 수선의 접선이 선체 중심선과 이루는 각

Holtrop & Mennen의 저항 추정 방법

- ④ 조파 저항(낮은 속도 범위)

- 낮은 속도 범위: $F_n \leq 0.4$

$$R_W = \rho g \nabla C_1 C_2 C_5 \exp\{ m_1 F_n^d + m_4 \cos(\lambda F_n^{-2}) \}$$

$$C_1 = 2223105 C_7^{3.78613} (T/B)^{1.07961} (90 - i_E)^{-1.37565}$$

- $C_7 = 0.229577 (B/L)^{0.33333}$: $B/L \leq 0.11$ 일 때
- $C_7 = B/L$: $0.11 \leq B/L \leq 0.25$ 일 때
- $C_7 = 0.5 - 0.0625 B/L$: $0.25 \leq B/L$ 일 때

i_E : 만재흘수선상에서 entrance angle의 1/2
 초기설계 단계에서 만재흘수선 위치에서의 i_E 를 알 수 없는 경우 추정식

$$i_E = 1 + 89 e^{\left\{ \begin{aligned} &-(L/B)^{0.80856} (1-C_{WP})^{0.30484} (1-C_P - 0.0225 L_{CB})^{0.6367} \\ &\times (L_R/B)^{0.34574} (100 \nabla / L^3)^{0.16302} \end{aligned} \right\}}$$

C_2 : bulb에 의한 조파저항 감소효과를 나타내는 계수

$$C_2 = e^{-1.89 \sqrt{C_3}} \quad \text{만일 bulb가 없으면 } C_2 = 1$$

- $C_3 = 0.56 A_{BT}^{1.5} / \{ B \cdot T (0.31 \sqrt{A_{BT}} + T_F - h_B) \}$
- A_{BT} : 선수수선 위치에서의 bulb의 횡단면적
- h_B : 기선으로부터 면적 A_{BT} 의 중심위치까지의 높이
- T_F : 선수수선 위치에서의 형흘수

계속 →

Holtrop & Mennen의 저항 추정 방법

- ④ 조파 저항(낮은 속도 범위)

C_5 : transom stern에 의한 조파 저항 감소 효과를 나타내는 계수

$$C_5 = 1 - 0.8 A_T / (B \cdot T \cdot C_M)$$

A_T : 속도가 0일 때의 transom 부분의 물속에 잠긴 면적

$$m_1 = 0.0140407 L / T - 1.75254 \nabla^{1/3} / L - 4.79323 B / L - C_{16}$$

$$d = -0.9$$

$$C_{16} = 8.07981 C_p - 13.8673 C_p^2 + 6.984388 C_p^3 : C_p \leq 0.8 \text{ 일 때}$$

$$C_{16} = 1.73014 - 0.7067 C_p : 0.8 \leq C_p \text{ 일 때}$$

$$m_4 = C_{15} 0.4 e^{-0.034 F_n^{-3.29}}$$

$$C_{15} = -1.69385 : L^3 / \nabla \leq 512 \text{ 일 때}$$

$$C_{15} = -1.69385 + (L / \nabla^{1/3} - 8.0) / 2.36 : 512 \leq L^3 / \nabla < 1726.91 \text{ 일 때}$$

$$C_{15} = 0.0 : 1726.91 \leq L^3 / \nabla \text{ 일 때}$$

$$\lambda = 1.446 C_p - 0.03 L / B : L/B \leq 12 \text{ 일 때}$$

$$\lambda = 1.446 C_p - 0.36 : 12 \leq L/B \text{ 일 때}$$

- L : Waterline length
- T : 평균 형흘수 (m)
- B : 형폭 (m)
- ∇ : 배수용적 (m³)

Holtrop & Mennen의 저항 추정 방법

- ④ 조파 저항(높은 속도 범위)

- 높은 속도 범위: $0.55 \leq F_n$

$$R_W = \rho g \nabla C_1 C_2 C_5 \exp\{ m_1 F_n^d + m_4 \cos(\lambda F_n^{-2}) \}$$

낮은 속도 범위에서 다음 두 계수가 달라짐

$$C_1 = 6919.3 C_M^{-1.3346} (\nabla / L^3)^{2.00977} (L / B - 2)^{1.40692}$$

$$m_1 = -7.2035 (B / L)^{0.326869} (T / B)^{0.605375}$$

Holtrop & Mennen의 저항 추정 방법

- ④ 조파 저항(중간 속도 범위)

- 중간 속도 범위: $0.4 \leq F_n \leq 0.55$

$$R_W = (R_W)_{at F_n=0.4} + (10 F_n - 4) \cdot \{ (R_W)_{at F_n=0.55} - (R_W)_{at F_n=0.4} \} / 1.5$$

$(R_W)_{at F_n=0.4}$: 낮은 속도 범위의 식에 $F_n=0.4$ 를 대입하여 나온 결과

$(R_W)_{at F_n=0.55}$: 높은 속도 범위의 식에 $F_n=0.55$ 를 대입하여 나온 결과

Holtrop & Mennen의 저항 추정 방법

- ⑤ 수면 가까이 있는 Bulb에 의한 조파 저항 증가

$$R_B = 0.11 e^{(-3 P_B^{-2}) F_{ni}^3 A_{BT}^{1.5} \rho g / (1 + F_{ni}^2)}$$

P_B : bulbous bow의 수면 가까이 있는 정도를 나타내는 계수

$$P_B = 0.56 \sqrt{A_{BT}} / (T_F - 1.5 h_B)$$

F_{ni} : bulbous bow의 잠김율을 기준으로 한 Froude number

$$F_{ni} = V / \sqrt{g (T_F - h_B - 0.25 \sqrt{A_{BT}}) + 0.15 V^2}$$

실제 최근의 모형-시운전 시험결과를 분석한 결과에 의하면, Holtrop & Mennen이 제안한 R_B 는 무시하여도 영향이 없음

즉, $R_B=0$ 로 둔다

Holtrop & Mennen의 저항 추정 방법

- ⑥ 물에 잠긴 transom에 의한 저항

$$R_{TR} = 1/2 \rho V^2 A_T C_6$$

$$C_6 = 0.2(1 - 0.2 F_{nT}) : F_{nT} \leq 5 \text{ 일 때}$$

$$C_6 = 0 : 5 \leq F_{nT} \text{ 일 때}$$

$$F_{nT} = V / \sqrt{2 g A_T / (B + B \cdot C_{WP})}$$

Holtrop & Mennen의 저항 추정 방법

- ⑦ 모형선-실선 상관 수정 저항

$$R_A = 1/2 \rho V^2 S_{total} C_A$$

선체표면조도(hull roughness)와 공기 저항 등의 영향을 고려한 모형선과 실선 저항 값과의 차이를 나타내는 저항

$$C_A = 0.006 (L + 100)^{-0.16} - 0.00205 + 0.003 \sqrt{L/7.5} C_B^4 C_2 (0.04 - C_4)$$

$$C_4 = T_F / L \quad : T_F / L \leq 0.04 \text{ 일 때}$$

$$C_4 = 0.04 \quad : 0.04 < T_F / L \text{ 일 때}$$

Taylor & Gertler의 저항 추정 방법 (Taylor 수조의 도표)

$$R_T = R_F + \Delta R_F + R_R + R_{A1}$$

무차원화 하면 다음과 같다.

$$C_T = C_F + \Delta C_F + C_R + C_{A1}$$

C_F : Schoenherr **마찰저항계수**

ΔC_F : **가정**

C_R : **가정**

C_{A1} : Residual resistance coefficient

$$= (\nabla L^3, C_p, B/T, F_N), L = LWL$$

$B/T = 2.25, 3.00, 3.75$ **의 경우에 대해서**

$$C_p = 0.48 \sim 0.86 \text{ 및 } \nabla / L^3 = (1.0 \sim 7.0)$$

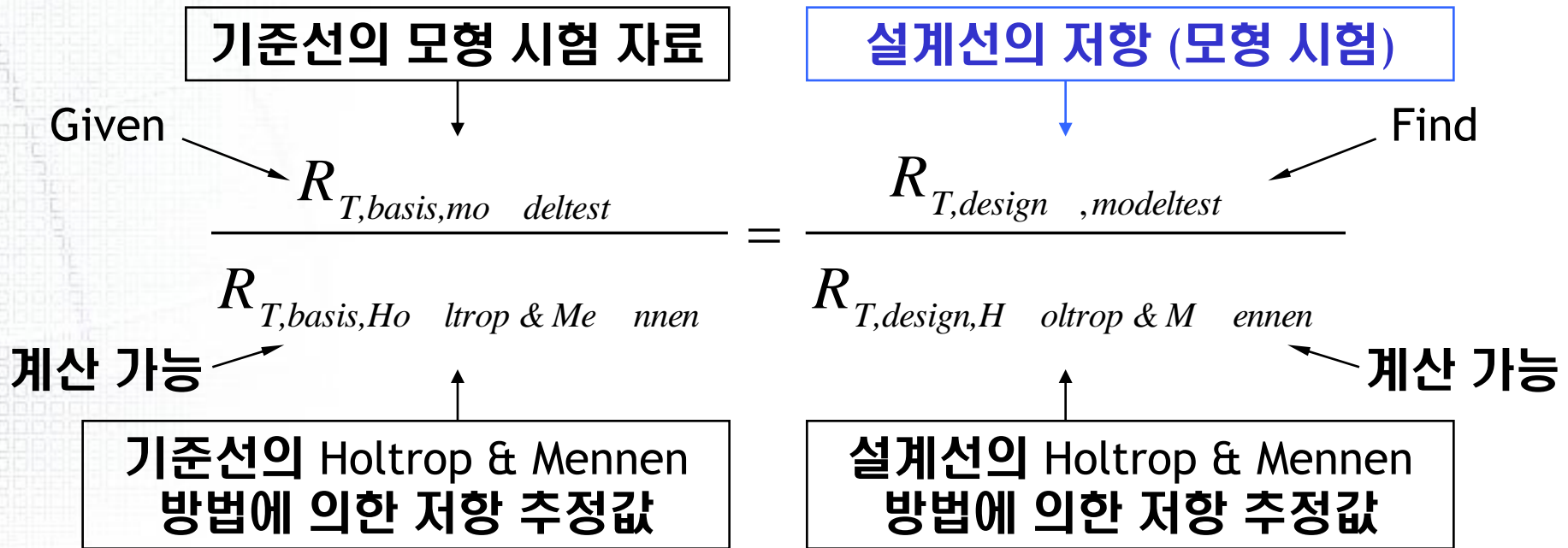
침수표면적 약산식 : $S = C_S \cdot \sqrt{\nabla} \cdot L$

특기 사항

- 모형선의 $C_M = 0.925$ -> constant
- $LCB = 0.5 \cdot LWL$ -> constant
- Bulbous bow **영향 고려하지 않음**
- **고속선 적용에 적당**

기준선 자료에 의한 저항 성능 추정

| | | |
|-------|----------------------------|---------------------|
| 개념설계 | 1. 선주 요구 조건 | 7. 화물창 용적 추정 |
| | 2. 유사 실적선 조사 | 8. 건현 계산 |
| | 3. 관련 Rule | 9. 복원 성능 추정 |
| | 4. 주요 치수 선정 | 10. 개략 일반배치 |
| | 5. 경하 중량 추정 | 11. 개략 선형 및 선박 재 계산 |
| | 6. 저항 및 마력 추정 / 주기관 선정 | 12. 견적 물량 및 견적가 산정 |
| | 13. Technical documents 작성 | |
| 마력주기관 | 저항 및 마력 추정 | |
| | 프로펠러 주요 치수 | |
| | 주기관 선정 | |



저항으로부터 마력의 추정

| | | |
|------------------|------------------------|----------------------------|
| 개 념 설 계 | 1. 선주 요구 조건 | 7. 화물창 응적 추정 |
| | 2. 유사 실적선 조사 | 8. 건현 계산 |
| | 3. 관련 Rule | 9. 복원 성능 추정 |
| | 4. 주요 치수 선정 | 10. 개략 일반배치 |
| | 5. 경하 중량 추정 | 11. 개략 선형 및 선박 재 계산 |
| | 6. 저항 및 마력 추정 / 주기관 선정 | 12. 견적 물량 및 견적가 산정 |
| | | 13. Technical documents 작성 |

| | |
|----------------------------|------------|
| 마 력 추 진 기 관 | 저항 및 마력 추정 |
| | 프로펠러 주요 치수 |
| | 주기관 선정 |

$$EHP = R_T \cdot V$$

$$DHP = EHP / \eta_D$$

$$BHP = DHP / \eta_T$$

$$NCR = BHP \cdot (1 + Sea\ Margin) / 100$$

$$MCR = NCR / Engine\ Margin$$

where ,

$$\eta_D = \eta_H \cdot \eta_R \cdot \eta_O, \quad \eta_H = \frac{1 - t}{1 - w}$$

- MCR: 최대 연속 마력(Maximum Continuous Rating)
- NCR: 연속 상용 마력(Normal Continuous Rating)
- BHP: 제동 마력(Brake Horse Power)
- DHP: 전달 마력(Delivered Horse Power)
- EHP: 유효 마력(Effective Horse Power)
- R_T: 전저항(Total Resistance)
- η_T: 프로펠러 전달 계수(Transmission Efficiency)
- η_D: 추진 계수(Propulsive Efficiency)
- η_O: 프로펠러 효율(Propeller Efficiency)
- η_H: 선각 효율(Hull Efficiency)
- η_R: 상대 회전 효율(Relative Rotative Efficiency)
- t: 추력 감소 계수(Thrust Deduction Fraction)
- w: 반력 계수(Wake Fraction)

잠수함의 저항 및 마력 추정 방법

$$EHP = 0.00872 \cdot V^3 \left[WS \cdot (C_f + C_a + C_r) + (S_s \cdot C_{ds}) + (S_a \cdot C_{dA}) \right]$$

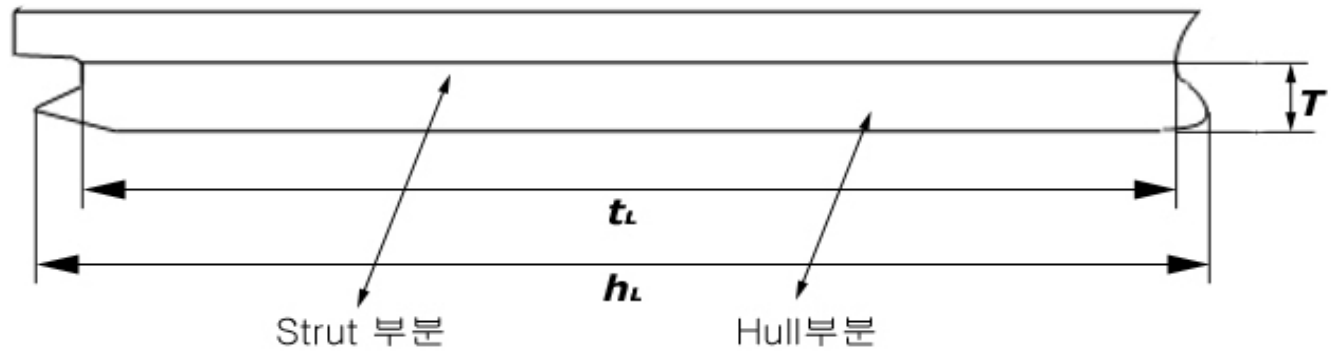
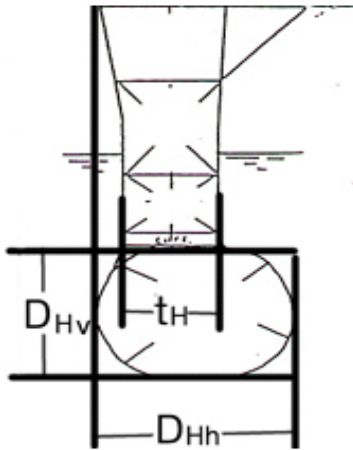
- WS : Wetted surface area of the bare hull
- S_a : Wetted surface of appendage
- S_s : Wetted surface of sail
- C_f : Coefficient of frictional resistance
- C_a : Correlation Allowance
- C_r : Coefficient of form resistance
- C_{ds} : Drag coefficient for sail
- C_{dA} : Drag coefficient of appendages

* Roy Burcher, Louis Rydill, Concepts in Submarine Design, pp. 290-292, 1994.

Ship design, Estimation of Resistance, 2008.4

SWATH의 저항 및 마력 추정 방법

| | |
|---------------|------------|
| 마력 추기 관 | 저항 및 마력 추정 |
| | 프로펠러 주요 치수 |
| | 추기관 선정 |



$$C_{wp} = \text{Strut 넓이} / t_L * t_H$$

$$C_{p_h} = \text{Hull의 부피} / (h_L * \pi * R^2)$$

일반 상선과의 차이점

:: Hull = lowerhull + strut

↓
침수 표면적 계산에 많은 차이가 있음

$$R_T = R_F (1 + k_1) + R_{APP} + R_W + R_B + R_{TR} + R_A$$

• Bulb가 존재하지 않음

$$\therefore R_B = 0$$

• Transom이 존재하지 않음

$$\therefore R_{TR} = 0$$

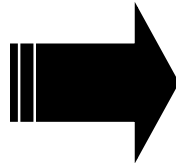
저항 및 마력 추정 프로그램

- 문제의 제시(1)

| | |
|---------------|------------|
| 마력 주기 관 | 저항 및 마력 추정 |
| | 프로펠러 주요 치수 |
| | 주기관 선정 |

입력 값

- Name = "278,000 DWT VLCC"
- Lwl = 320.6 m
- L = 315.0 m
- B = 57.2 m
- Tf = 20.45 m
- Ta = 20.45 m
- T = 20.45 m
- Volume = 307081.31 m³
- Sapp = 126.0 m
- Cm = 0.9971
- Cwp = 0.8339
-
-
-



출력 값

- Form Factor of Hull (1+k1)
- Form Factor of Hull & Appendage (1+k)
- Correlation Allowance (CA)
- Resistance by Bulb Effect (RB)
- Resistance by Transom Effect (RTR)
- Wave Resistance (RW)
- Viscous Hull Resistance (RV)
- Appendage Resistance (RAPP)
- Correlation Resistance (RA)
- Total Resistance (RT)
- Wake Coefficient (w)
-
-
-

저항 및 마력 추정 프로그램

- 문제의 제시(2)

■ 고려 사항

- Bulb에 의한 조파 저항도 고려할 것
- 선미 단면 형상은 V형이며 보통형 선미로 되어 있음
- 선박의 운항 조건은 15°C의 해수 상태임, $\rho = 1.025 \text{ ton/m}^3$
- 선체 부가물은 Bilge Keels만 고려할 것. 즉, $(1 + k_2) = 1.4$
- 계산에 필요한 프로펠러 날개 면적비(A_E/A_0)는 다음과 같다.

$$A_E / A_0 = K + \frac{(1.3 + 0.3Z) \cdot T}{D^2 \cdot (p_0 + \rho gh - p_v)}$$

■ 프로그램 Specification

- 프로그램 언어는 C++을 이용할 것
- MFC(Microsoft Foundation Class Library)를 기반으로 한 윈도우 프로그램으로 작성할 것

저항 및 마력 추정 프로그램

- 참고 사항(1)

- “Math.h”에 정의된 Function 사용
 - “Math.h”에 정의된 $\cos(x)$ 와 같은 삼각 함수는 **입력값을 라디안(Radian)으로 받게 된다.** 따라서 입력 값 대신 **60분법(Degree)의 각도를 넣지 않도록 주의한다.**

- 범위가 존재하는 경우 If문을 적절히 사용
 - 조파 저항(R_w)과 같이 범위에 따라 수식 혹은 값이 바뀌는 경우 If문을 이용하여 범위를 정확히 분리한다.

- 프로그램 내의 계산 결과 값의 단위 조정
 - 프로그램 내에서 계산에 필요한 입력값과 그에 따른 출력값의 단위를 잘 맞추어가며 계산했는지를 확인한다.

저항 및 마력 추정 프로그램

- 참고 사항(2)

| | | |
|------------------|----------------------------|---------------------|
| 개 념 설 계 | 1. 선주 요구 조건 | 7. 화물창 용적 추정 |
| | 2. 유사 실적선 조사 | 8. 건현 계산 |
| | 3. 관련 Rule | 9. 복원 성능 추정 |
| | 4. 주요 치수 선정 | 10. 개략 일반배치 |
| | 5. 경하 중량 추정 | 11. 개략 선형 및 선박 재 계산 |
| | 6. 저항 및 마력 추정 / 주기관 선정 | 12. 견적 물량 및 견적이 산정 |
| | 13. Technical documents 작성 | |

| | |
|-----------------------|------------|
| 마 력 주 기 관 | 저항 및 마력 추정 |
| | 프로펠러 주요 치수 |
| | 주기관 선정 |

- float와 double의 구분
 - 실수형 변수는 float과 double의 두 가지 형태가 존재하는데, 보다 정확한 계산을 위해서 double을 사용할 것을 권장. 혼용할 경우 결과 값에 약간의 차이가 날 수 있다.
- double 형태의 변수를 제공하기 위해서는 pow() 함수를 쓴다.
 - Double 형태의 변수인 경우 v^2 을 계산하기 위해 “pow(V, 2.0)”로 작성
 - pow() 함수를 쓰기 위해서는 “math.h”를 반드시 include해야 한다.
- Holtrop & Mennen 방법 에 대한 참고
 - 일반적으로 w, t, η_R 은 기준선의 자료를 가져다 쓰며, η_o 는 프로펠러 최적화 과정에서 얻은 값을 쓴다.

저항 및 마력 추정 프로그램

- Input Data의 입력(1)

| | | |
|------------------------|----------------------------|---------------------|
| 개 념 설 계 | 1. 선주 요구 조건 | 7. 화물창 용적 추정 |
| | 2. 유사 실적선 조사 | 8. 건현 계산 |
| | 3. 관련 Rule | 9. 복원 성능 추정 |
| | 4. 주요 치수 선정 | 10. 개략 일반배치 |
| | 5. 경하 중량 추정 | 11. 개략 선형 및 선박 재 계산 |
| 6. 저항 및 마력 추정 / 주기관 선정 | 12. 견적 물량 및 견적가 산정 | |
| | 13. Technical documents 작성 | |

| | |
|-----------------------|------------|
| 마 력 주 기 관 | 저항 및 마력 추정 |
| | 프로펠러 주요 치수 |
| | 주기관 선정 |

■ Input File의 작성

주어진 데이터

Name = "278,000 DWT VLCC"
Lwl = 320.6 m
L = 315.0 m
B = 57.2 m



Input File: "input.txt"

278,000_DWT_VLCC
320.6
315.0
57.2

- 주어진 데이터를 한 줄에 하나씩 입력한다.
- 데이터의 구분은 “빈 칸” & “줄 바꿈” 에 의해서 이루어진다.
- 문자열은 빈 칸 없이 “_”(Under Bar)로 연결해 준다.

저항 및 마력 추정 프로그램

- Input Data의 입력(2)

■ 입력 함수의 정의

`FILE* fp;`

- 입력 파일을 읽어들이기 위한 포인터 선언
- `int* a;` 와 같이 어떤 자료 형태의 포인터를 선언한 것이다.

```
main.cpp
#include <stdio.h>

void Input_Data_File()
{
    // File의 Pointer 선언
    FILE* fp;

    // File을 읽음
    fp = fopen("Input.txt", "r");

    // 변수의 선언
    char Name[255];
    double Lwl, L, B;

    // 파일로부터 값들을 읽음
    fscanf(fp, "%s", Name);
    fscanf(fp, "%lf", &Lwl);
    fscanf(fp, "%lf %lf", &L, &B);

    // File을 닫음
    fclose(fp);
}
```

저항 및 마력 추정 프로그램

- Input Data의 입력(3)

■ 입력 함수의 정의

```

main.cpp
#include <stdio.h>

void Input_Data_File()
{
    // File의 Pointer 선언
    FILE* fp;

    // File을 읽음
    fp = fopen("Input.txt", "r");

    // 변수의 선언
    char Name[255];
    double Lwl, L, B;

    // 파일로부터 값들을 읽음
    fscanf(fp, "%s", Name);
    fscanf(fp, "%lf", &Lwl);
    fscanf(fp, "%lf %lf", &L, &B);

    // File을 닫음
    fclose(fp);
}

```

```
fp = fopen("Input.txt", "r");
```

- 파일 포인터 “fp”가 “Input.txt”의 가장 첫 부분을 가리키게 설정
- “r”은 읽기 전용을 뜻함

| fp | Input.txt |
|----|------------------|
| | 278,000_DWT_VLCC |
| | 320.6 |
| | 315.0 |
| | 57.2 |

저항 및 마력 추정 프로그램

- Input Data의 입력(4)

■ 입력 함수의 정의

```
main.cpp
#include <stdio.h>

void Input_Data_File()
{
    // File의 Pointer 선언
    FILE* fp;

    // File을 읽음
    fp = fopen("Input.txt", "r");

    // 변수의 선언
    char Name[255];
    double Lwl, L, B;

    // 파일로부터 값들을 읽음
    fscanf(fp, "%s", Name);
    fscanf(fp, "%lf", &Lwl);
    fscanf(fp, "%lf %lf", &L, &B);

    // File을 닫음
    fclose(fp);
}
```

Char Name[255];

double Lwl, L, B;

- 파일로부터 입력 받을 변수를 선언
- Name은 255개의 문자를 저장할 수 있는 공간 확보
- Lwl, L, B는 실수형 변수

| fp | Input.txt |
|----|------------------|
| | 278,000_DWT_VLCC |
| | 320.6 |
| | 315.0 |
| | 57.2 |

저항 및 마력 추정 프로그램

- Input Data의 입력(5)

■ 입력 함수의 정의

```

main.cpp
#include <stdio.h>

void Input_Data_File()
{
    // File의 Pointer 선언
    FILE* fp;

    // File을 읽음
    fp = fopen("Input.txt", "r");

    // 변수의 선언
    char Name[255];
    double Lwl, L, B;

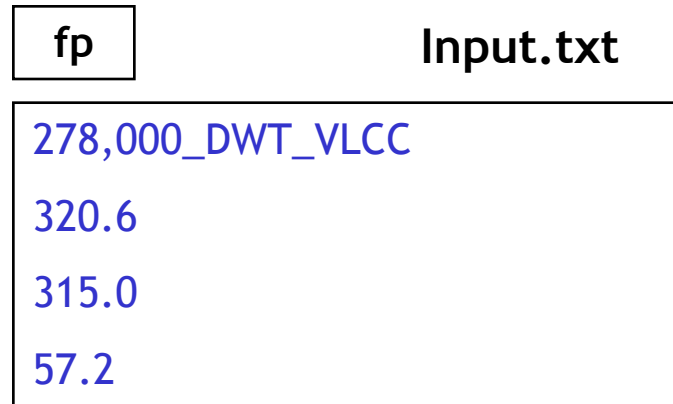
    // 파일로부터 값들을 읽음
    fscanf(fp, "%s", Name);
    fscanf(fp, "%lf", &Lwl);
    fscanf(fp, "%lf %lf", &L, &B);

    // File을 닫음
    fclose(fp);
}

```

`fscanf(fp, "%s", Name);`

• 파일로부터 문자열을 입력 받아 Name에 저장



Name이라는 이름의 저장 공간

278,000_DWT_VLCC

저항 및 마력 추정 프로그램

- Input Data의 입력(6)

■ 입력 함수의 정의

```
fscanf(fp, "%lf", &Lwl);
fscanf(fp, "%lf %lf", &L, &B);
```

```
main.cpp
#include <stdio.h>

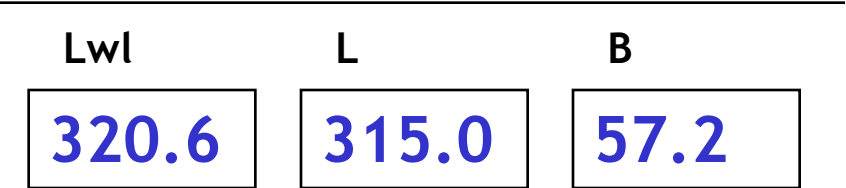
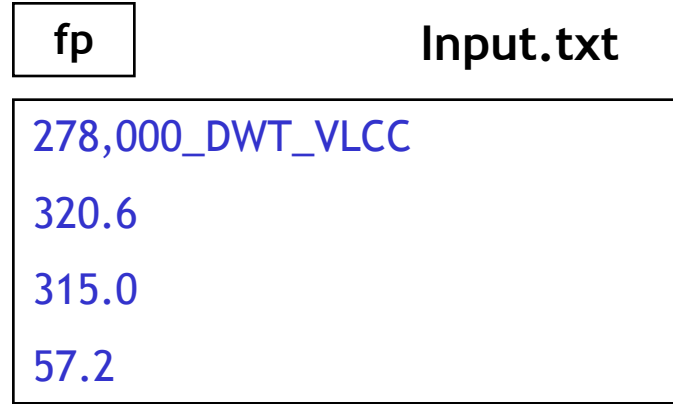
void Input_Data_File()
{
    // File의 Pointer 선언
    FILE* fp;

    // File을 읽음
    fp = fopen("Input.txt", "r");

    // 변수의 선언
    char Name[255];
    double Lwl, L, B;

    // 파일로부터 값들을 읽음
    fscanf(fp, "%s", Name);
    fscanf(fp, "%lf", &Lwl);
    fscanf(fp, "%lf %lf", &L, &B);

    // File을 닫음
    fclose(fp);
}
```



저항 및 마력 추정 프로그램

- 클래스의 정의(1)

| | | |
|----------|----------------------------|---------------------|
| 개념 설계 | 1. 선주 요구 조건 | 7. 화물창 용적 추정 |
| | 2. 유사 실적선 조사 | 8. 건현 계산 |
| | 3. 관련 Rule | 9. 복원 성능 추정 |
| | 4. 주요 치수 선정 | 10. 개략 일반배치 |
| | 5. 경하 중량 추정 | 11. 개략 선형 및 선박 재 계산 |
| | 6. 저항 및 마력 추정 / 주기관 선정 | 12. 견적 물량 및 견적가 산정 |
| | 13. Technical documents 작성 | |

| | |
|---------------|------------|
| 마력 주기 관 | 저항 및 마력 추정 |
| | 프로펠러 주요 치수 |
| | 주기관 선정 |

■ 멤버 변수의 선언

```

class Ship
{
public:
    Ship(); // 생성자
    ~Ship(); // 소멸자

    // 멤버 변수의 선언
    double Lwl, L;
    double B, D, T, Tf, Ta;
    double Cp, Cwp;
    // ...
};
    
```

• 저항 및 마력 추정을 위한 변수를 선언한다.

저항 및 마력 추정 프로그램

- 클래스의 정의(2)

| | | |
|------------------|------------------------|----------------------------|
| 개 념 설 계 | 1. 선주 요구 조건 | 7. 화물창 용적 추정 |
| | 2. 유사 실적선 조사 | 8. 건현 계산 |
| | 3. 관련 Rule | 9. 복원 성능 추정 |
| | 4. 주요 치수 선정 | 10. 개략 일반배치 |
| | 5. 경하 중량 추정 | 11. 개략 선형 및 선박 재 계산 |
| | 6. 저항 및 마력 추정 / 주기관 선정 | 12. 견적 물량 및 견적가 산정 |
| | | 13. Technical documents 작성 |

| | |
|-----------------------|------------|
| 마 력 추 기 관 | 저항 및 마력 추정 |
| | 프로펠러 주요 치수 |
| | 주기관 선정 |

■ 계산 과정의 모듈화

저항 및 마력 추정을 위한 계산 식

함수의 선언



저항 및 마력 추정 프로그램

- 클래스의 정의(3)

| | | |
|----------|----------------------------|---------------------|
| 개념 설계 | 1. 선주 요구 조건 | 7. 화물창 용적 추정 |
| | 2. 유사 실적선 조사 | 8. 건현 계산 |
| | 3. 관련 Rule | 9. 복원 성능 추정 |
| | 4. 주요 치수 선정 | 10. 개략 일반배치 |
| | 5. 경하 중량 추정 | 11. 개략 선형 및 선박 재 계산 |
| | 6. 저항 및 마력 추정 / 주기관 선정 | 12. 견적 물량 및 견적이 산정 |
| | 13. Technical documents 작성 | |

| | |
|---------------|------------|
| 마력 주기 관 | 저항 및 마력 추정 |
| | 프로펠러 주요 치수 |
| | 주기관 선정 |

■ 멤버 함수의 선언

Ship.h

```
class Ship
{
public:
    Ship(); // 생성자
    ~Ship(); // 소멸자

    // 멤버 변수의 선언
    double Lwl, L;
    double B, D, T, Tf, Ta;
    double Cp, Cwp;
    // 종략

    // 멤버 함수의 선언
    void Calculate_Rf();
    void Calculate_Rapp();
    void Calculate_Rw();
    void Calculate_Rb();
    // 이하 생략
};
```

Ship.cpp

```
#include "Ship.h"

Ship::Ship()
{
}

Ship::~Ship()
{
}

void Ship::Calculate_Rf()
{
}

void Ship::Calculate_Rapp()
{
}

void Ship::Calculate_Rw()
{
}

void Ship::Calculate_Rb()
{
}

// 이하 생략
```

저항 및 마력 추정 프로그램

- 함수의 구현(1)

| | | |
|----------|------------------------|----------------------------|
| 개념 설계 | 1. 선주 요구 조건 | 7. 화물창 용적 추정 |
| | 2. 유사 실적선 조사 | 8. 건현 계산 |
| | 3. 관련 Rule | 9. 복원 성능 추정 |
| | 4. 주요 치수 선정 | 10. 개략 일반배치 |
| | 5. 경하 중량 추정 | 11. 개략 선형 및 선박 재 계산 |
| | 6. 저항 및 마력 추정 / 주기관 선정 | 12. 견적 물량 및 견적가 산정 |
| | | 13. Technical documents 작성 |

| | |
|-------------------|------------|
| 마력 주 기 관 | 저항 및 마력 추정 |
| | 프로펠러 주요 치수 |
| | 주기관 선정 |

■ 마찰 저항 계산 함수

$$R_F = \frac{1}{2} \rho S_{bh} V^2 C_F$$

$$\rho = 1.025$$

$$S_{bh} = L(2T + B) \sqrt{C_M} (0.4530 + 0.4425 C_B - 0.2862 C_M - 0.003467 B/T + 0.3696 C_{WP}) + 2.38 A_{BT} / C_B$$

$$C_F = \frac{0.075}{(\log R_n - 2)^2}$$

```
void Ship::Calculate_Rf()
{
    Rf = 0.5 * rho * S_bh * pow(V,2) * Cf;
}
```

```
void Ship::Calculate_Rf()
{
    rho = 1.025;
    Rf = 0.5 * rho * S_bh * pow(V,2) * Cf;
}
```

```
void Ship::Calculate_Rf()
{
    rho = 1.025;
    S_bh = LWL * (2*T + B) * sqrt(C_m) * (0.4530 + (0.4425 * C_b) - (0.2862 * C_m) - (0.003467 * (B/T)) + (0.3696 * C_wp)) + 2.38 * (A_BT/C_b);
    Rf = 0.5 * rho * S_bh * pow(V,2) * Cf;
}
```

```
void Ship::Calculate_Rf()
{
    rho = 1.025;
    S_bh = LWL * (2*T + B) * sqrt(C_m) * (0.4530 + (0.4425 * C_b) - (0.2862 * C_m) - (0.003467 * (B/T)) + (0.3696 * C_wp)) + 2.38 * (A_BT/C_b);
    Cf = 0.075 / pow((log10(Reynolds) - 2),2);
    Rf = 0.5 * rho * S_bh * pow(V,2) * Cf;
}
```



저항 및 마력 추정 프로그램

- 함수의 구현(2)

| | | |
|------------------|------------------------|----------------------------|
| 개 념 설 계 | 1. 선주 요구 조건 | 7. 화물창 용적 추정 |
| | 2. 유사 실적선 조사 | 8. 견현 계산 |
| | 3. 관련 Rule | 9. 복원 성능 추정 |
| | 4. 주요 치수 선정 | 10. 개략 일반배치 |
| | 5. 경하 중량 추정 | 11. 개략 선형 및 선박 재 계산 |
| | 6. 저항 및 마력 추정 / 주기관 선정 | 12. 견적 물량 및 견적가 산정 |
| | | 13. Technical documents 작성 |

| | |
|-----------------------|------------|
| 마 력 주 기 관 | 저항 및 마력 추정 |
| | 프로펠러 주요 치수 |
| | 주기관 선정 |

■ 선체 부가물 저항 계산 함수

$$R_{APP} = \frac{1}{2} \rho V^2 S_{App} (1 + k_2)_{eq} C_F$$

$$k_2 = 0.4$$



```
void Ship::Calculate_Rapp()
{
    Rapp = 0.5 * rho * pow(V,2) * Sapp * ( 1+k2) * Cf;
}
```

```
void Ship::Calculate_Rapp()
{
    k2 = 0.4;
    Rapp = 0.5 * rho * pow(V,2) * Sapp * ( 1+k2) * Cf;
}
```

저항 및 마력 추정 프로그램

- 함수의 구현(3)

| | |
|-----------|------------|
| 마력 주기관 | 저항 및 마력 추정 |
| | 프로펠러 주요 치수 |
| | 주기관 선정 |

■ 수면 가까이에 있는 Bulb에 의한 조파 저항 계산 함수

$$R_B = 0.11 \exp(-3P_B^{-2}) \times F_{ni}^3 A_{BT}^{1.5} \rho g / (1 + F_{ni}^2)$$

$$P_B = 0.56 \sqrt{A_{BT}} / (T_F - 1.5h_B)$$

$$F_{ni} = \frac{V}{\sqrt{g(T_F - h_B - 0.25\sqrt{A_{BT}}) + 0.15V^2}}$$

```
void Ship::Calculate_Rb()
{
    Rb = 0.11 * exp(-3 * pow(P_B,-2)) * pow(F_ni,3) * pow(A_BT,1.5)
        * rho * g / (1 + pow(F_ni,2));
}
```

```
void Ship::Calculate_Rb()
{
    P_B = 0.56 * sqrt(A_BT) / (T_f - 1.5 * h_B);
    Rb = 0.11 * exp(-3 * pow(P_B,-2)) * pow(F_ni,3) * pow(A_BT,1.5)
        * rho * g / (1 + pow(F_ni,2));
}
```

```
void Ship::Calculate_Rb()
{
    F_ni = V / sqrt(g * (T_f - h_B - 0.25 * sqrt(A_BT)) + 0.15 * pow(V,2));
    P_B = 0.56 * sqrt(A_BT) / (T_f - 1.5 * h_B);
    Rb = 0.11 * exp(-3 * pow(P_B,-2)) * pow(F_ni,3) * pow(A_BT,1.5)
        * rho * g / (1 + pow(F_ni,2));
}
```

저항 및 마력 추정 프로그램

- 생성자(1)

| | | |
|------------------|------------------------|----------------------------|
| 개 념 설 계 | 1. 선주 요구 조건 | 7. 화물창 용적 추정 |
| | 2. 유사 실적선 조사 | 8. 건현 계산 |
| | 3. 관련 Rule | 9. 복원 성능 추정 |
| | 4. 주요 치수 선정 | 10. 개략 일반배치 |
| | 5. 경하 중량 추정 | 11. 개략 선형 및 선박 재 계산 |
| | 6. 저항 및 마력 추정 / 주기관 선정 | 12. 견적 물량 및 견적가 산정 |
| | | 13. Technical documents 작성 |

| | |
|-----------------------|------------|
| 마 력 추 기 관 | 저항 및 마력 추정 |
| | 프로펠러 주요 치수 |
| | 주기관 선정 |

■ 생성자

Ship.h

```
class Ship
{
public:
    Ship(); // 생성자
    Ship(FILE* fp);
    ~Ship(); // 소멸자

    // 멤버 변수의 선언
    char Name[255];
    double Lwl, L;
    double B, D, T, Tf, Ta;
    double Cp, Cwp;
    // 종락
};
```

• Ship의 개체를 선언할 때 입력값으로 fp라는 FILE의 포인터를 입력 받아 그것을 바탕으로 초기값을 설정한다.

Ship.cpp

```
Ship::Ship(FILE* fp)
{
    fscanf(fp, "%s", Name);
    fscanf(fp, "%lf", &Lwl);
    fscanf(fp, "%lf", &L);
    // 종락
};
```

• 정의 부분에서는 실제 FILE을 포인터(fp)를 이용하여 FILE을 내용을 읽어들이는 동작을 수행한다.

• 모양이 마치 함수와 같은 것을 볼 수 있다. 54/56 즉, 자신과 같은 이름의 함수이다.

저항 및 마력 추정 프로그램

- 생성자(2)

| | | |
|------------------------|----------------------------|---------------------|
| 개 념 설 계 | 1. 선주 요구 조건 | 7. 화물창 용적 추정 |
| | 2. 유사 실적선 조사 | 8. 건현 계산 |
| | 3. 관련 Rule | 9. 복원 성능 추정 |
| | 4. 주요 치수 선정 | 10. 개략 일반배치 |
| | 5. 경하 중량 추정 | 11. 개략 선형 및 선박 재 계산 |
| 6. 저항 및 마력 추정 / 주기관 선정 | 12. 견적 물량 및 견적가 산정 | |
| | 13. Technical documents 작성 | |
| 마 력 주 기 관 | | 저항 및 마력 추정 |
| | | 프로펠러 주요 치수 |
| | | 주기관 선정 |

■ 생성자

Main.cpp

```
void main()
{
    FILE* fp;
    fp = fopen("Input.txt", "r");
    Ship MyShip(fp);
    fclose(fp);
}
```

- 실제 이용할 때는 개체를 생성하면서 입력값을 왼쪽과 같이 넣어준다.
- 왼쪽의 그림은 “Input.txt”를 가리키는 포인터 “fp”가 입력되어 생성자 함수를 실행시킨다.