

Computer Aided Ship design

-Part I. Optimal Ship Design-

September, 2009
Prof. Kyu-Yeul Lee

Department of Naval Architecture and Ocean Engineering,
Seoul National University of College of Engineering



Seoul
National
Univ.



Advanced Ship Design Automation Lab.
<http://asdal.snu.ac.kr>



Ch.7 Determination of principal particulars of ship using optimization method



Seoul
National
Univ.

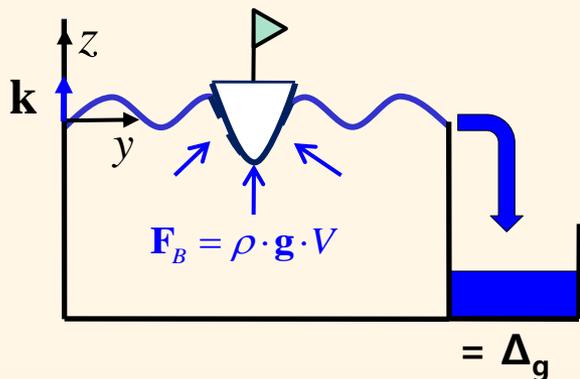


Advanced Ship Design Automation Lab.

<http://asdal.snu.ac.kr>



부력과 중량



① Archimedes' Principle

: 유체 중에 있는 물체는 그 물체에 의해 배제된 유체의 중량만큼 부력을 받는다.

- F_B : 선박이 받는 부력
- V : 배제된 부피 (displacement volume: m³)
- ρ : 유체의 밀도
- g : 중력가속도
- Δ_g : 배제된 유체의 중량 (displacement : ton)

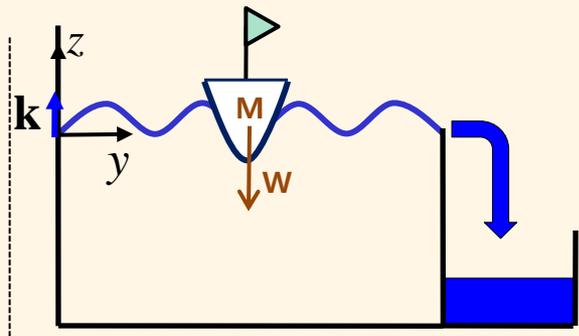
$$F_B = k\rho gV$$

이때, ρgV 를 "배수량(displacement)"라고 하고 다음과 같이 표현한다.

$$\rho gV = \Delta_g$$

따라서 부력 = 배수량이다.

$$\therefore F_B = \Delta_g$$



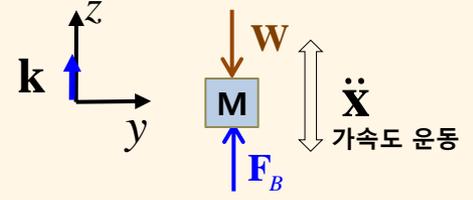
② 선박의 질량을 M 이라 하면, 선박의 중량 W 는

$$W = (-k)Mg$$

- M : 선박의 전체 질량
- g : 중력 가속도

선박의 중량은 아래 방향으로 작용하는데, Z축의양의 방향을 위쪽 방향으로 잡았기 때문에, 앞에 (-)부호가 붙어 있다.

③ 자유 물체에 작용하는 힘 성분을 표시 하여 Newton 제 2 법칙을 적용해 보자.



$$\begin{aligned} M \ddot{x} &= \sum F \\ &= F_B + W \\ &= k\rho gV - kMg \end{aligned}$$

④ 부력과 중량의 평형 상태
"선박의 전체 중량 = 선박이 받는 부력"

만약 선박이 운동을 하지 않으면,

$$\ddot{x} = 0 \text{ 이므로 (평형상태)}$$

$$0 = k(\rho gV - Mg)$$

$$\therefore \rho gV = Mg$$

부력 중량의 평형상태

■ 부력= 중량 (평형상태에서)

$$\rho g V = Mg \cdots (1)$$

(L.H.S)

① 직육면체 모양의 선체가 물속에 잠겨 있으면, 물 속에 잠긴 부피는 다음과 같다.

$$V_{rect} = L \cdot B \cdot T$$

② 저항 성능이 좋도록 직육면체의 가장자리를 잘라 내면, 잘라낸 후의 부피와 직육면체의 부피와의 비를 C_B 라 한다.

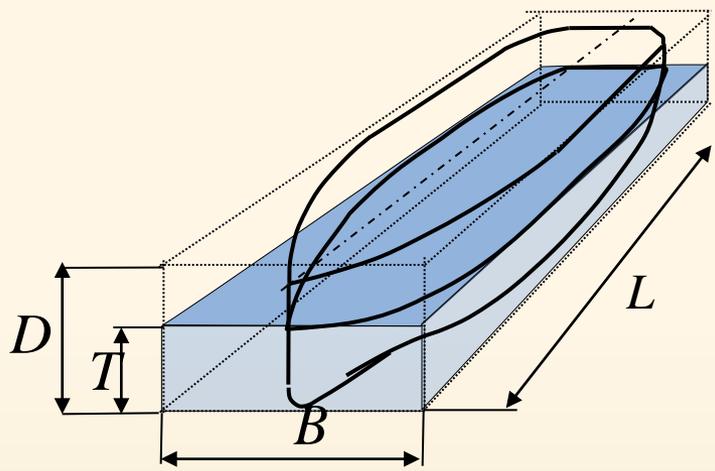
$$\frac{V}{L \cdot B \cdot T} = C_B \quad \therefore V = L \cdot B \cdot T \cdot C_B$$

따라서 식 (1)의 왼쪽 항은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\rho g V = L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \rho \cdot g \cdot (1 + \alpha),$$

ρ : 유체의 밀도로
해수의 경우 1.025 Mg/m³

α : 부가 배수량을 나타내는 계수로서 프로펠러, 타, 축등의 moulded line 바깥의 배수량. 약 0.02~0.025의 값을 가진다.



L : LBP (Length Between Perpendicular)

B : B_{mld} (moulded Breadth)

T : T_{mld} (moulded draft)

부력 중량의 평형상태

■ 부력= 중량 (평형 상태에서)

$$\rho g V = Mg \cdots (1)$$

(L.H.S)

$$\rho g V = L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \rho \cdot g \cdot (1 + \alpha)$$

(R.H.S)

선박의 무게를 선박 자체의 무게(LWT)와 선박이 최대로 실을 수 있는 화물의 무게(DWT)로 나누어 표현해 보자.

$$Mg = LWT + DWT$$

*실제 DWT는 Payload(화물의 무게)+ Fuel oil + Diesel oil+ Fresh water +etc. 로 구성되어 있다.

(L.H.S)=(R.H.S)

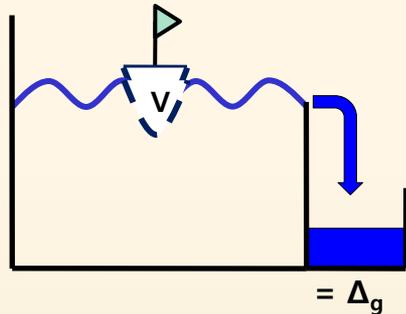
$$L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \rho \cdot (1 + \alpha) = LWT + DWT \cdots (2)$$

 LWT,DWT의 단위는?



(참고) 배수량의 단위

배수량(displacement) : 물체가 유체속에 잠겨 있을 때 물체가 배제한 유체의 중량 [ton]



$$\Delta_g \equiv \rho g V,$$

- V : 배제된 부피 (displacement volume: m^3)
- ρ : 유체의 밀도
- g : 중력가속도
- Δ_g : 배제된 유체의 중량 (displacement : ton)

$$L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \rho \cdot (1 + \alpha) = LWT + DWT \dots (2)$$

$$\rho V = \frac{\Delta_g}{g}$$

좌변은 배수량을 중력가속도 g 로 나누어 준 것과 같다. 이 값을 Δ 라고 정의 하자. $\Delta \equiv \frac{\Delta_g}{g}$

이때 Δ 는 배제된 유체의 질량을 나타내고 [Mg](mega gram)의 단위를 가진다.

우변의 LWT와 DWT도 좌변과 같이 질량을 나타낸다.

조선분야에서는 일반적으로 Δ 를 배수량 이라고 한다.

Δ 는 실제로는 질량의 단위이지만, 조선에서는 무게인 것처럼 취급한다. 따라서 실제 힘을 계산할 때는 Δ 에 중력가속도 g 를 곱해서 계산해야 한다.

선박 주요 치수(L,B,D,T,C_B) 결정 문제의 수학적 모델

부력(Buoyancy)-중량(Weight) 평형 조건 <물리 법칙>

$$L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \rho \cdot (1 + \alpha) = DWT_{given} + LWT \dots (2)$$

ρ : 유체의 밀도

α : 부가 배수량 계수

Given: $DWT, T,$

(선주 요구조건)

Find : L, B, D, C_B, LWT

식 1개 미지수 5개의 비선형 부정방정식

⇒ 미지수 4개를 가정하면, 주요치수를 결정할 수 있다.



LWT는 어떻게 가정할 수 있을까?

※ 302K VLCC(Very Large Crude oil Carrier)의 경우

LBP : 314 m, B : 58 m, D : 31 m, T_{design} : 20.9 m, T_{scantling} : 22.2 m

LWT : 41,000 ton, DWT_{design} : 280,000 ton, DWT_{scantling} : 302,000 ton,

C_{B,design} : 0.8213 ton, C_{B,scantling} : 0.8257 ton,



선박 주요 치수(L,B,D,T,C_B) 결정 문제의 수학적 모델

-LWT추정 방법; (1) 상수로 가정

부력(Buoyancy)-중량(Weight) 평형 조건 <물리 법칙>

$$L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \rho \cdot (1 + \alpha) = DWT_{given} + LWT \dots (2)$$

Given: DWT, T

(선주 요구조건)

Find : L, B, D, C_B, LWT



LWT는 어떻게 가정할 수 있을까?

※ 302K VLCC(Very Large Crude oil Carrier)의 경우

LBP : 314 m, B : 58 m, D : 31 m, T_{design} : 20.9 m, T_{scantling} : 22.2 m

LWT : 41,000 ton, DWT_{design} : 280,000 ton, DWT_{scantling} : 302,000 ton,

C_{B.design} : 0.8213 ton, C_{B.scantling} : 0.8257 ton,

방법 ① : LWT를 상수로 가정

실적선의 LWT를 설계선에도 같이 적용하여 설계선의 배수량을 추정한다.

$$\therefore L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \rho \cdot (1 + \alpha) = DWT_{given} + LWT_{Basis\ ship} \dots (2.1)$$

ρ : 유체의 밀도

α : 부가 배수량 계수

※ 302K VLCC(Very Large Crude oil Carrier)의 경우 LWT는 41,000 ton 정도임

미지수 4개(L, B, D, C_B), 식 1개((2.1)) 의 비선형 부정방정식

⇒ 예를 들어 $T = 23.0, DWT = 320,000$ 으로 주어져 있고,

$L = 315, B = 60, D = 31, LWT = 42,000$ 으로 가정하면, $C_B = 0.8102$ 을 얻을 수 있다.

이 외에도, 미지수를 가정하는 것에 따라 무수히 많은 해가 있다.

따라서 그 해를 선정하는 기준이 있어야 한다.

⇒ "목적함수"



선박 주요 치수(L,B,D,T,C_B) 결정 문제의 수학적 모델

-LWT추정 방법; (2) DWT와 Displacement 비율로 추정

부력(Buoyancy)-중량(Weight) 평형 조건 <물리 법칙>

$$L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \rho \cdot (1 + \alpha) = DWT_{given} + LWT \dots (2)$$

※ 302K VLCC(Very Large Crude oil Carrier)의 경우

LBP : 314 m, B : 58 m, D : 31 m, T_{design} : 20.9 m, T_{scantling} : 22.2 m

LWT : 41,000 ton, DWT_{design} : 280,000 ton, DWT_{scantling} : 302,000 ton,

Given: DWT, T

(선주 요구조건)

Find : L, B, D, C_B, LWT



LWT는 어떻게 가정할 수 있을까?

방법 ② : LWT를 기준선의 배수량으로부터 추정

기준선의 DWT와 Displacement 비율을 설계선에도 같이 적용하여 설계선의 배수량을 추정한다.

$$\frac{DWT_B}{\Delta_B} = \frac{DWT_{given}}{\Delta} \rightarrow \Delta = \frac{\Delta_B}{DWT_B} \cdot DWT_{given}$$

아래첨자B : 기준선(Basis Ship)

$$\therefore L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \rho \cdot (1 + \alpha) = \Delta \dots (2.1)$$

미지수 4개(L, B, D, C_B), 식 1개((2.1)) 의 비선형 부정방정식

⇒ 예를 들어 T = 23.0, DWT = 320,000 으로 주어져 있고,

$$L = 315, B = 60, D = 30 \text{ 으로 가정하면, } \Delta = \frac{\Delta_B}{DWT_B} \cdot DWT_{given} = \frac{343,000}{302,000} \cdot 320,000 = 363,000 [Mg]$$

이고, C_B = 0.8157 를 얻을 수 있다.



선박 주요 치수(L,B,D,T,C_B) 결정 문제의 수학적 모델

-LWT추정 방법; (3) LWT는 L·B·D에 비례한다고 가정

부력(Buoyancy)-중량(Weight) 평형 조건 <물리 법칙>

$$L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \rho \cdot (1 + \alpha) = DWT_{given} + LWT \dots (2)$$

※ 302K VLCC(Very Large Crude oil Carrier)의 경우

LBP : 314 m, B : 58 m, D : 31 m, T_{design} : 20.9 m, T_{scantling} : 22.2 m

LWT : 41,000 ton, DWT_{design} : 280,000 ton, DWT_{scantling} : 302,000 ton,

Given: DWT, T

(선주 요구조건)

Find : L, B, D, C_B, **LWT**



LWT는 어떻게 가정할 수 있을까?

C_{B.design} : 0.8213 ton, C_{B.scantling} : 0.8257 ton,

방법 ③: 경하중량(LWT)이 L·B·D(선체의 Volume)에 비례한다고 가정

$$LWT \propto L \cdot B \cdot D$$

$$LWT = C_{LWT} \cdot L \cdot B \cdot D, C_{LWT} \text{는 기준선으로부터 구함}$$

$$\therefore L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \rho \cdot (1 + \alpha) = DWT_{given} + C_{LWT} \cdot L \cdot B \cdot D \dots (2.2)$$

따라서 미지수 4개 (L, B, D, C_B), 식 1개 ((2.2))의 비선형 부정방정식 이다.

⇒ 예를 들어 T = 23.0, DWT = 320,000 으로 주어져 있고, 기준선으로 부터 C_{LWT} = 0.0726 이다.

L = 315, B = 60, D = 30 으로 가정하면, C_B = 0.8137 을 얻을 수 있다.

이 외에도, 미지수를 가정하는 것에 따라 무수히 많은 해가 있다.

따라서 **그 해를 선정하는 기준**이 있어야 한다.

⇒ "목적함수"

선박 주요 치수 (L,B,D,T,C_B) 결정 문제의 수학적 모델

-LWT추정 방법; (4) LWT를 선각중량 W_s , 의장중량 W_o , 기관부 중량 W_m 으로 세분화

부력(Buoyancy)-중량(Weight) 평형 조건 <물리 법칙>

$$L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \rho \cdot (1 + \alpha) = DWT_{given} + LWT \dots (2)$$

Given: DWT, T

(선주 요구조건)

Find: L, B, D, C_B, LWT



LWT는 어떻게 가정할 수 있을까?

※ 302K VLCC(Very Large Crude oil Carrier)의 경우

LBP : 314 m, B : 58 m, D : 31 m, T_{design} : 20.9 m, T_{scantling} : 22.2 m

LWT : 41,000 ton, DWT_{design} : 280,000 ton, DWT_{scantling} : 302,000 ton,

C_{B.design} : 0.8213 ton, C_{B.scantling} : 0.8257 ton,

방법 ④ 경하중량(LWT)을 선각중량 W_s , 의장중량 W_o , 기관부 중량 W_m 으로 세분화

$$LWT = W_s + W_o + W_m$$



W_s, W_o, W_m 은 어떻게 추정할까?

- ① 상수로 가정
- ② 선박의 주요치수의 함수로 표현



선박 주요 치수(L,B,D,T,C_B) 결정 문제의 수학적 모델

-LWT추정 방법; (4) LWT를 선각중량 W_s, 의장중량 W_o, 기관부 중량 W_m 으로 세분화

부력(Buoyancy)-중량(Weight) 평형 조건 <물리 법칙>

$$L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \rho \cdot (1 + \alpha) = DWT_{given} + LWT \dots (2)$$

※ 302K VLCC(Very Large Crude oil Carrier)의 경우

LBP : 314 m, B : 58 m, D : 31 m, T_{design} : 20.9 m, T_{scantling} : 22.2 m
 LWT : 41,000 ton, DWT_{design} : 280,000 ton, DWT_{scantling} : 302,000 ton,

Given: DWT, T

(선주 요구조건)

Find : L, B, D, C_B, **LWT**



LWT는 어떻게 가정할 수 있을까?

C_{B.design} : 0.8213 ton, C_{B.scantling} : 0.8257 ton,

방법 ④: 경하중량(LWT)을 선각중량 W_s, 의장중량 W_o, 기관부 중량 W_m 으로 세분화

W_s ∝ L^α (B + D)^β 라고 가정하면, W_s = C_S L^α (B + D)^β

C_S, α, β 는 우수한 실적선의 Data를 바탕으로 Regression analysis를 통하여 구할 수 있다.

대수 함수(Logarithm)로 표현하면,

$$\ln W_s = \ln C_s + \alpha \ln L + \beta \ln(B + D)$$

Y
A₀
X₁
X₂

다시 쓰면, Y = A₀ + αX₁ + βX₂

실적선에 대해 X_{1i}, X_{2i}; Y_i 가 존재하고, 오차가 최소가 되는 평면을 구하면 C_S, α, β 를 구할 수 있다.

우수한 실적선에 대하여 계산한 결과 C_S, α = 1.6, β = 1의 값이 나왔다.

$$\therefore W_s = C_s L^{1.6} (B + D)$$



선박 주요 치수(L,B,D,T,C_B) 결정 문제의 수학적 모델

-LWT추정 방법; (4) LWT를 선각중량 W_s , 의장중량 W_o , 기관부 중량 W_m 으로 세분화

부력(Buoyancy)-중량(Weight) 평형 조건 <물리 법칙>

$$L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \rho \cdot (1 + \alpha) = DWT_{given} + LWT \dots (2)$$

※ 302K VLCC(Very Large Crude oil Carrier)의 경우

LBP : 314 m, B : 58 m, D : 31 m, T_{design} : 20.9 m, T_{scantling} : 22.2 m

LWT : 41,000 ton, DWT_{design} : 280,000 ton, DWT_{scantling} : 302,000 ton,

Given: DWT, T

(선주 요구조건)

Find : L, B, D, C_B, LWT



LWT는 어떻게 가정할 수 있을까?

C_{B.design} : 0.8213 ton, C_{B.scantling} : 0.8257 ton,

방법 ④: 경하중량(LWT)을 선각중량 W_s , 의장중량 W_o , 기관부 중량 W_m 으로 세분화

$$W_s = C_S L^{1.6} (B + D)$$

기준선(302K VLCC)으로 부터, $C_S = \frac{W_{S_B}}{L_B^{1.6} (B_B + D_B)} = \frac{36,423}{314^{1.6} (58 + 31)} = 0.0414$



선박 주요 치수 (L,B,D,T,C_B) 결정 문제의 수학적 모델

-LWT추정 방법; (4) LWT를 선각중량 W_s , 의장중량 W_o , 기관부 중량 W_m 으로 세분화

부력(Buoyancy)-중량(Weight) 평형 조건 <물리 법칙>

$$L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \rho \cdot (1 + \alpha) = DWT_{given} + LWT \dots (2)$$

※ 302K VLCC(Very Large Crude oil Carrier)의 경우

LBP : 314 m, B : 58 m, D : 31 m, T_{design} : 20.9 m, T_{scantling} : 22.2 m

LWT : 41,000 ton, DWT_{design} : 280,000 ton, DWT_{scantling} : 302,000 ton

C_{B.design} : 0.8213 ton, C_{B.scantling} : 0.8257 ton,

Given: DWT, T
(선주 요구조건)

Find : L, B, D, C_B, LWT



LWT는 어떻게 가정할 수 있을까?

방법 ④ : 경하중량(LWT)을 선각중량 W_s , 의장중량 W_o , 기관부 중량 W_m 으로 세분화

$W_o \propto L \cdot B$ 라고 가정하면, $W_o = C_o \cdot L \cdot B$, C_o 는 기준선으로부터 구함

기준선(302K VLCC)으로 부터, $C_o = \frac{W_{O_B}}{L_B \cdot B_B} = \frac{2,721.5}{314 \times 58} = 0.1493$



선박 주요 치수 (L,B,D,T,C_B) 결정 문제의 수학적 모델

-LWT추정 방법; (4) LWT를 선각중량 W_s , 의장중량 W_o , 기관부 중량 W_m 으로 세분화

부력(Buoyancy)-중량(Weight) 평형 조건 <물리 법칙>

※ 302K VLCC(Very Large Crude oil Carrier)의 경우

$$L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \rho \cdot (1 + \alpha) = DWT_{given} + LWT \dots (2)$$

LBP : 314 m, B : 58 m, D : 31 m, T_{design} : 20.9 m, T_{scantling} : 22.2 m
 LWT : 41,000 ton, DWT_{design} : 280,000 ton, DWT_{scantling} : 302,000 ton,
 C_{B.design} : 0.8213 ton, C_{B.scantling} : 0.8257 ton,

Given: DWT, T

(선주 요구조건)

Find : L, B, D, C_B, **LWT**



LWT는 어떻게 가정할 수 있을까?

방법 ④ 경하중량(LWT)을 선각중량 W_s , 의장중량 W_o , **기관부 중량 W_m** 으로 세분화

$W_m \propto NMCR^*$ 라고 가정하면, $W_m = C_m \cdot NMCR$, C_m 은 기준선으로부터 구함

*NMCR : 해당 엔진이 낼 수 있는 최대 마력으로서 엔진의 크기, 무게, 용적 및 가격의 기준이 된다.

기준선(302K VLCC)으로 부터, $C_m = \frac{W_{oB}}{NMCR_B} = \frac{1,872}{35,555} = 0.05265$

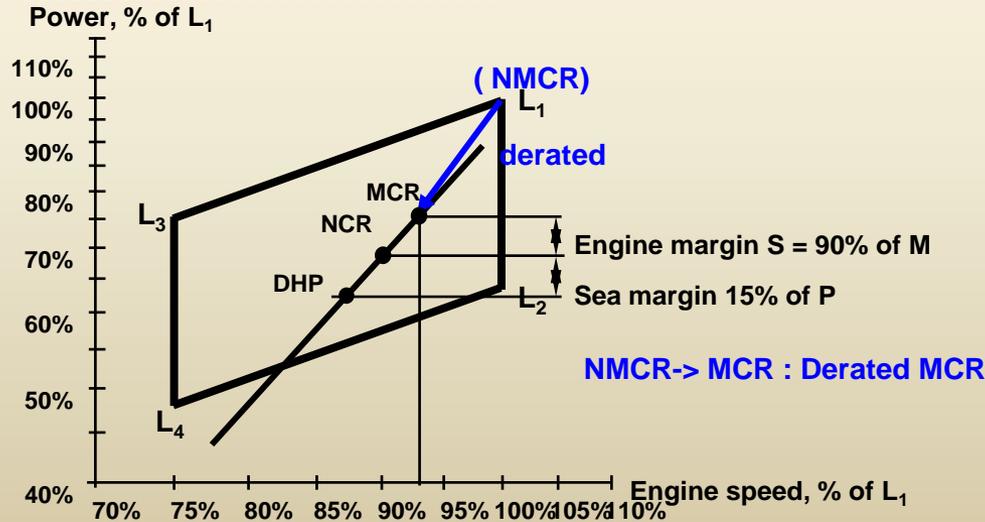
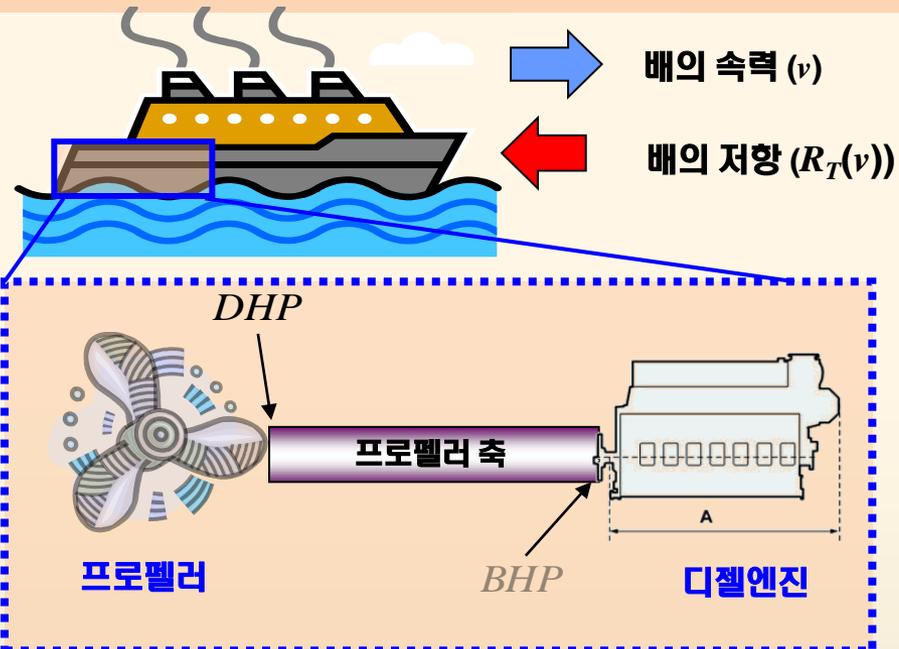


설계선의 NMCR은 어떻게 추정할까?

① 상수로 가정

② 선박의 주요치수와 속도의 함수로 표현

(참고) 주기관 마력 추정



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)

$$BHP = \frac{DHP}{\eta_T} \quad (\eta_T: \text{축전달 효율})$$

④ NCR (Normal Continuous Rating)

$$NCR = BHP \left(1 + \frac{\text{Sea Margine}}{100}\right)$$

⑤ DMCR (Derated Maximum Continuous Rating)

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

⑥ NMCR (Nominal Maximum Continuous Rating)

$$NMCR = \frac{DMCR}{\text{Derating rate}}$$



선박 주요 치수 (L,B,D,T,C_B) 결정 문제의 수학적 모델

$$W_m = C_m \cdot NMCR$$

NMCR을 추정하기 위해서는 먼저 **DHP**를 알아야 한다.

DHP는 저항 및 마력 추정을 통해 결정해야 하나

초기 단계에서는 정수중(Calm water)의 DHP를 다음의 가정을 통해 개략적으로 추정할 수 있음

$$DHP_{Calmwater} \propto \Delta^{2/3} \cdot V^3 \quad \text{라고 가정하면,} \quad DHP_{Calmwater} = C_{DHP} \Delta^{2/3} \cdot V^3$$

이때, $\frac{1}{C_{DHP}} = C_{ad}$ 라 하고 “Admiralty 계수”라고 한다.

$$C_{ad} = \frac{\Delta^{2/3} \cdot V^3}{DHP_{Calmwater}}$$

$\Delta^{2/3} = [m^2]$
 $\Delta^{2/3} \times V^2 = [m^3 \cdot m / s^2] = [\frac{N}{kg / m^3}]$
 $\Delta^{2/3} \times V^3 [m^3 \cdot m / s^2 \cdot m / s] = [\frac{W}{kg / m^3}]$

$C_{ad} = \frac{\Delta^{2/3} \cdot V^3}{DHP_{Calmwater}}$

- C_{ad}의 분자 $\Delta^{2/3} \times V^3$ 은 마력에 비례하므로 Admiralty계수는 **일종의 추진 계수**에 비례하는 계수임
- 주요치수가 결정 되면, DHP는 저항과 추진계수를 상세히 추정해 결정 해야 한다.

선박 주요 치수 (L,B,D,T,C_B) 결정 문제의 수학적 모델

$$W_m = C_m \cdot NMCR$$

$$NMCR = C_1 \cdot DHP$$

$$DHP_{Calm\ water} = \frac{\Delta^{2/3} \cdot V^3}{C_{ad}}$$

$$NMCR = \frac{C_1}{C_{ad}} \Delta^{2/3} \cdot V^3$$

$$\therefore W_m = C_m \cdot \frac{C_1}{C_{ad}} \cdot (L \cdot B \cdot T \cdot C_B)^{2/3} \cdot V^3, \quad C_m \cdot \frac{C_1}{C_{ad}} = C_{power} \text{ 라 하면}$$

$$W_m = C_{power} \cdot (L \cdot B \cdot T \cdot C_B)^{2/3} \cdot V^3$$

- 기관마력은 주요치수가 일단 선정되면, 좀 더 상세한 기관마력을 추정할 수 있음
- 즉 저항 추정 -> 마력 추정 -> MCR추정 -> 프로펠러 효율 추정 -> 마력 추정
- 이에 따라 기관부 중량이 변하고 다시 경하중량이 변하게 되어 변경된 값으로 다시 추정해야 함



선박 주요 치수 (L,B,D,T,C_B) 결정 문제의 수학적 모델

-LWT추정 방법; (4) LWT를 선각중량 W_s , 의장중량 W_o , 기관부 중량 W_m 으로 세분화

부력(Buoyancy)-중량(Weight) 평형 조건 <물리 법칙>

$$L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \rho \cdot (1 + \alpha) = DWT_{given} + LWT \dots (2)$$

※ 302K VLCC(Very Large Crude oil Carrier)의 경우

LBP : 314 m, B : 58 m, D : 31 m, T_{design} : 20.9 m, T_{scantling} : 22.2 m
 LWT : 41,000 ton, DWT_{design} : 280,000 ton, DWT_{scantling} : 302,000 ton,

Given: DWT, T

(선주 요구조건)

Find : L, B, D, C_B, LWT



LWT는 어떻게 가정할 수 있을까?

$C_{B.design} : 0.8213 \text{ ton}, C_{B.scantling} : 0.8257 \text{ ton},$

방법 ④ 경하중량(LWT)을 선각중량 W_s , 의장중량 W_o , 기관부 중량 W_m 으로 세분화

$$LWT = W_s + W_o + W_m$$

$$W_s = C_s \cdot L^{1.6} (B + D),$$

$$W_o = C_o \cdot L \cdot B,$$

$$W_m = C_m \cdot NMCR$$

$$= C_{power} \cdot (L \cdot B \cdot T \cdot C_B)^{2/3} \cdot V^3,$$

$$L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \rho \cdot C_\alpha = DWT_{given} + C_s \cdot L^{1.6} (B + D) + C_o \cdot L \cdot B + C_{power} \cdot (L \cdot B \cdot T \cdot C_B)^{2/3} \cdot V^3 \dots (2.3)$$

따라서 미지수 4개 (L, B, D, C_B), 식 1개((2.3)) 의 비선형 부정방정식 이다.

⇒ 최적화 문제 ⇒ 목적 함수를 최소화(ex.건조비 최소화)하는 문제로 풀 수 있다.



목적 함수의 예: 건조비(Building cost)

목적 함수(주요 치수 선정 기준)

선박의 건조비가 중량에 비례한다고 가정하면,

$$Building\ Cost = C_{PS} \cdot W_S + C_{PO} \cdot W_O + C_{PM} \cdot W_M$$

선박의 중량을 선박의 주요치수로 표현하면 건조비를 다음과 같이 주요치수로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} Building\ Cost &= C_{PS} \cdot C_s \cdot L^{1.6} (B + D) + C_{PO} \cdot C_o \cdot L \cdot B + C_{PM} \cdot C_{ma} \cdot NMCR \\ &= C_{PS} \cdot C_s \cdot L^{1.6} (B + D) + C_{PO} \cdot C_o \cdot L \cdot B \\ &\quad + C_{PM} \cdot C_{power} \cdot (L \cdot B \cdot T \cdot C_B)^{2/3} \cdot V^3 \end{aligned}$$

- C_{PS} : 선박 강재비 관련 계수
- C_{PO} : 의장부 비용 관련 계수
- C_{PM} : 기관부 비용 관련 계수

← 실적선 **data**로부터 추정한 값
Ex) 302K VLCC로 부터 추정한 값
 $C_{PS} = 2,223.0, C_{PO} = 4,834.5, C_{PM} = 17,177.0$

목적 함수의 예: 건조비(Building cost)

비용 관련 계수 구하는 과정

선박의 건조비는 다음과 같이 구성된다.

$$\begin{aligned}
 \text{Building Cost} = & (\text{선각강재공수} + \text{선각강재 재료비}) \\
 & + (\text{선체의장공수} + \text{선체의장부 재료비}) \\
 & + (\text{기관부 및 전기부 공수} + \text{기관부 및 전기부 재료비}) \\
 & + \text{일반경비}
 \end{aligned}$$

※VLCC 경우 Buliding cost 가 약 \$130,000,000(일억삼천만불) 정도

선박의 건조비가 선박의 중량이 비례한다고 가정하면, 선박의 중량을 세분화 하여, 선각중량, 의장중량, 기관부 중량으로 나누어 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\text{Building Cost} = C_{PS} \cdot W_S + C_{PO} \cdot W_O + C_{PM} \cdot W_M$$

$ \left[\begin{array}{l} C_{PS} : \text{선박 강재비 관련 계수} \\ C_{PO} : \text{의장부 비용 관련 계수} \\ C_{PM} : \text{기관부 비용 관련 계수} \end{array} \right] $	$ C_{PS} = \frac{(\text{선각강재공수} + \text{선각강재 재료비})}{W_S} $
	$ C_{PO} = \frac{(\text{선체의장공수} + \text{선체의장부 재료비})}{W_O} $
	$ C_{PM} = \frac{(\text{기관부 및 전기부 공수} + \text{기관부 및 전기부 재료비})}{W_M} $



■ 원가구조 비교

		한국	일본	중국
재료비	강재	17	17	18
	기자재	42	43	47
	소계	59	60	65
인건비		27	29	19
기타 경비		14	13	16
계		100	100	100



선박 주요 치수 결정 (L,B,D,T,C_B) 문제의 수학적 모델

- 요구 화물창 용적 조건

■ 요구 화물창 용적 조건

선주는 최대 화물의 중량 뿐만 아니라, 화물을 운송하기 위해서 필요한 화물창의 용적을 요구한다.

$$V_{H_req} = f(L, B, D, C_B) \cdots (3)$$

일반적으로 화물창 용적을 만족하기 위해서는 D를 가정한다.

화물창 용적은 초기 단계에서 다음과 같이 간략하게 가정할 수 있다.

$$V_{H_req} \propto L \cdot B \cdot D \quad (\text{선박의 Volume에 비례한다고 가정})$$

$$V_{H_req} = C_H \cdot L \cdot B \cdot D \cdots (3.1)$$

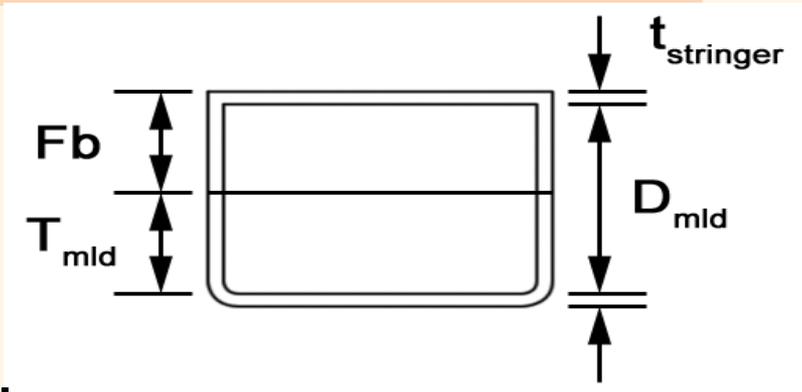
위의 식 (3.1)은 개략적 추정식 이므로 추후 구획 배치가 진행됨에 따라 화물창 용적을 다시 추정해야 한다.



선박 주요 치수 결정 (L,B,D,T,C_B) 문제의 수학적 모델

- D에 대한 제약 조건 (ICLL 1966 요구 건현)

- 건현 (Free board; Fb)
 - 흘수로부터 Upper Deck 의 두께를 포함한 높이



■ 최소 요구 건현 조건

- 선박이 운동을 하다 보면 갑판이 물에 잠길 수 있다.
- 선박이 Roll 운동을 할 때에도 횡경사가 심할 경우 Sheer strake(갑판의 측면)이 물에 잠길 수 있다.
- 따라서 예비 부력으로 건현을 두어야 한다.

$$D \geq T + Fb$$

건현

건현은 Depth에 비례하는 것으로 가정할 수 있다. $Fb \propto D$
따라서 초기 설계 단계에서 아래와 같이 개략적으로 계산할 수 있다

$$D \geq T + C_{FB} \cdot D \dots (4)$$

실제로는 다음과 같은 식으로부터 계산을 해야 함 (4학년 창의적 선박설계 2주차 강의 내용)

ICLL(International Convention on Load Line) 1966 요구 건현

$$Fb = f(L_f, D, C_B, Superstructure_{Length}, Superstructure_{Height}, Sheer)$$



선박 주요 치수 (L,B,D,T,C_B) 결정 문제의 수학적 모델(요약)

- “개념설계 방정식”

구하는 값(설계 변수) L, B, D, C_B
 길이 폭 깊이 방형 계수

주어진 값(선주 요구 조건) $DWT, V_{H_req}, T_{max} (=T), V$
 재화 중량 요구 화물창 용적 최대 흘수 선속

물리적 제한 조건

→ 부력(buoyancy)-중량(Weight) 평형 조건(등호 제약 조건)

$$\begin{aligned}
 L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \rho_{sw} \cdot C_\alpha &= DWT_{given} + LWT(L, B, D, C_B) \\
 &= DWT_{given} + C_s \cdot L^{1.6} (B + D) + C_o \cdot L \cdot B \\
 &\quad + C_{power} \cdot (L \cdot B \cdot T \cdot C_B)^{2/3} \cdot V^3 \quad \dots (2.3)
 \end{aligned}$$

선주 요구 조건(인위적 제한 조건)

→ 요구되는 화물창 용적(cargo capacity) 조건(등호 제약 조건)

$$V_{H_req} = C_H \cdot L \cdot B \cdot D \quad \dots (3.1)$$

- DFOC(Daily Fuel Oil Consumption)
+ 저항 추진과 관련이 있음
- 납기일(Delivery Date)
+ 생산 공정과 관련이 있음

국제 규약 조건

→ 최소 요구 건현 조건(1966 ICLL)(부등호 제약 조건)

$$D \geq T + C_{FB} \cdot D \quad \dots (4)$$

목적 함수(주요 치수 선정 기준)

$$Building\ Cost = C_{PS} \cdot C_s \cdot L^{1.6} (B + D) + C_{PO} \cdot C_o \cdot L \cdot B + C_{PM} \cdot C_{power} \cdot (L \cdot B \cdot T \cdot C_B)^{2/3} \cdot V^3$$

▶ 미지수 4개(L,B,D,C_B), 등호 제약 조건 2개 ((2.3),(3.1)) 부등호 제약 조건 1개((4))인 최적화 문제