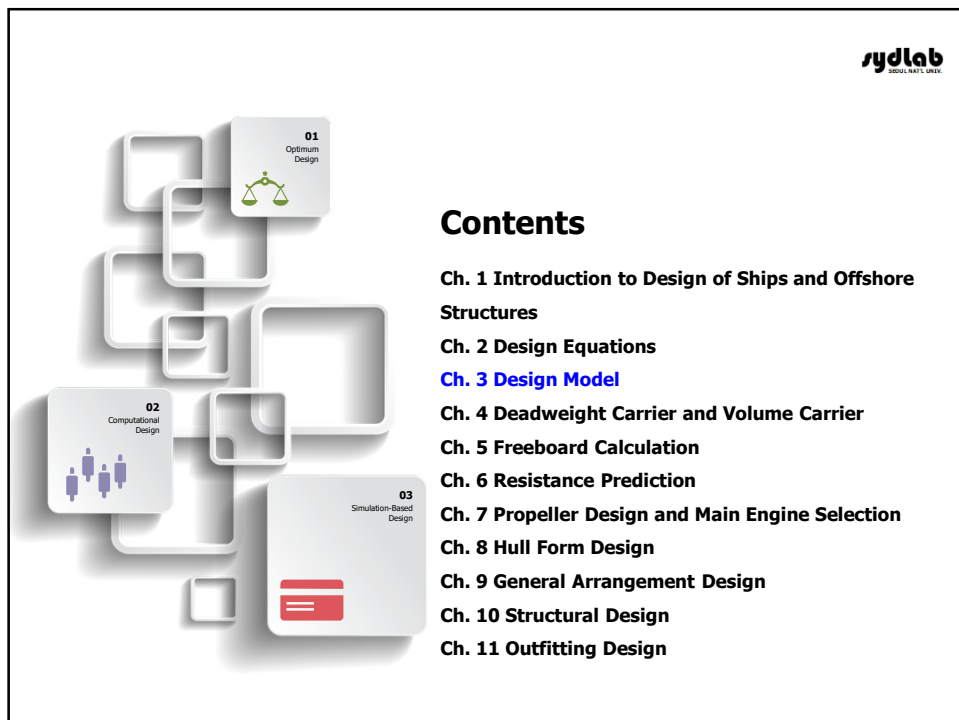
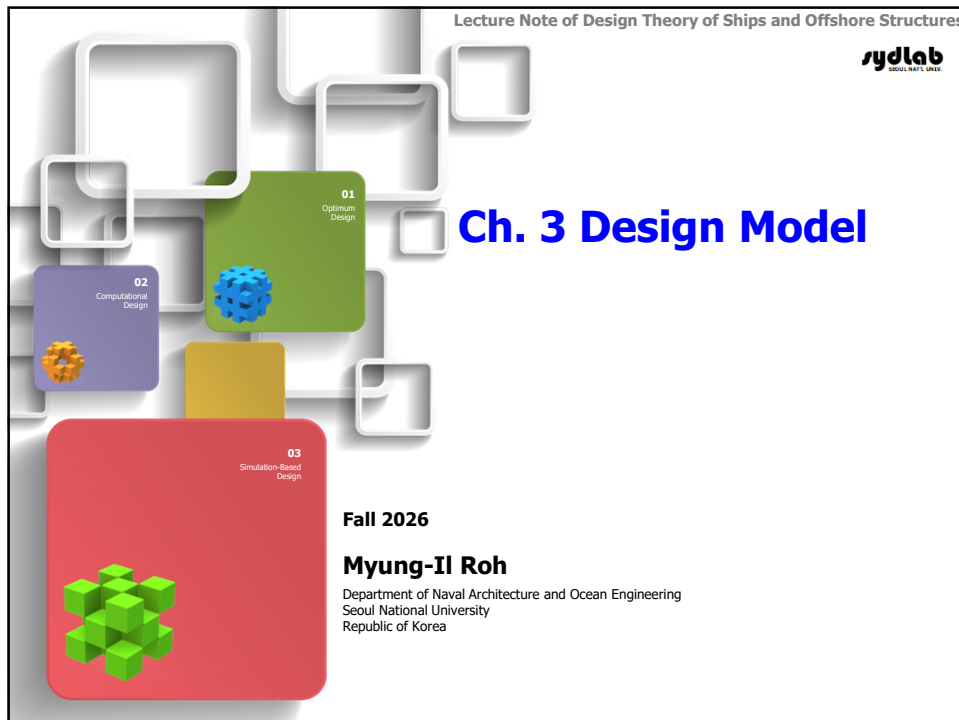








## Ch. 3 Design Model

1. 중량에 의한 주요 치수 결정

2. 용적식에 의한 주요 치수 결정

3. 견현 추정

4. 방형계수 선정

5. 선박 건조비 추정

6. 주요 치수 설계를 위한 설계 모델

1. Determination of the Principal Dimensions by the Weight Equation

2. Determination of the Principal Dimensions by the Volume Equation

3. Estimation of Freeboard

4. Recommendation on Block Coefficient

5. Estimation of Shipbuilding Cost

6. Design Model for the Principal Dimensions Design



## Problem Statement for Ship Design

Determination of Ship's Principal Dimensions

선박 설계 문제의 정의

▪ **Given: Shipowner's requirements**

주어진 사항: 선주의 요구조건

- **Deadweight ( $DWT$ )**

재화중량 (DWT)

- **Capacity of the cargo hold ( $V_{CH}$ )**

화물창 용적 (VCH)

- **Service speed ( $V_s$ )**

운항 속도 (Vs)

- **Daily Fuel Oil Consumption ( $DFOC$ )**

일일 연료유 소비량 (DFOC)

- **Endurance**

항속력

- ...

...

▪ **Find: Ship's principal dimensions**

구할 것: 선박의 주요 치수

- **Length ( $L$ )**

길이 (L)

- **Breadth ( $B$ )**

폭 (B)

- **Depth ( $D$ )**

깊이 (D)

- **Draft ( $T$ )**

흘수 (T)

- **Block coefficient ( $C_B$ )**

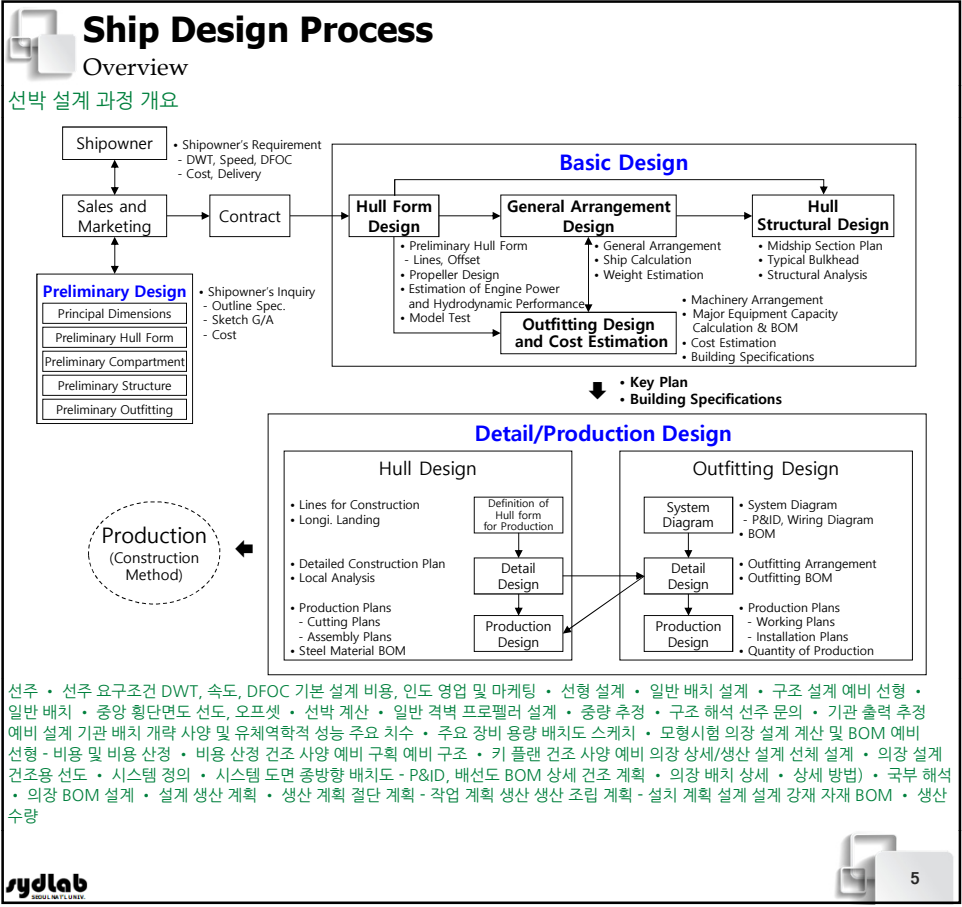
방형계수 (CB)





4

2



Detail/Production Design

Hull Design

• Lines for Construction  
• Longi. Landing  
• Detailed Construction Plan  
• Local Analysis  
• Production Plans  
- Cutting Plans  
- Assembly Plans  
• Steel Material BOM

Definition of Hull form for Production  
Detail Design  
Production Design

Outfitting Design

• System Diagram  
- P&ID, Wiring Diagram  
• BOM  
• Outfitting Arrangement  
• Outfitting BOM  
• Production Plans  
- Working Plans  
- Installation Plans  
• Quantity of Production

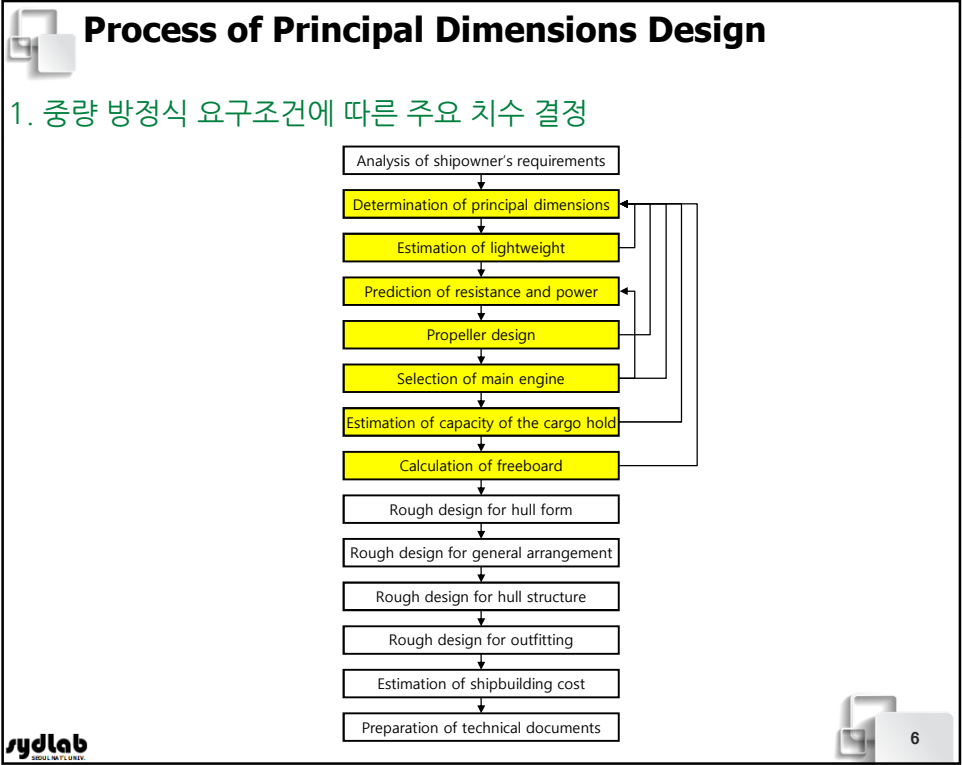
System Diagram  
Detail Design  
Production Design

Production  
(Construction Method)

선주 • 선주 요구조건 DWT, 속도, DFOC 기본 설계 비용, 인도 영업 및 마케팅 • 선형 설계 • 일반 배치 설계 • 구조 설계 예비 선형 • 일반 배치 • 중앙 횡단면도 선도, 오프셋 • 선박 계산 • 일반 격벽 프로펠러 설계 • 중량 추정 • 구조 해석 선주 문의 • 기관 출력 추정 예비 설계 기관 배치 개략 사양 및 유체역학적 성능 주요 치수 • 주요 장비 용량 배치도 스케치 • 모형시험 의장 설계 계산 및 BOM 예비 선형 - 비용 및 비용 산정 • 비용 산정 건조 사양 예비 구획 예비 구조 • 키플랜 건조 사양 예비 의장 상세/생산 설계 선체 설계 • 의장 설계 건조용 선도 • 시스템 정의 • 시스템 도면 중방향 배치도 - P&ID, 배선도 BOM 상세 건조 계획 • 의장 배치 상세 • 상세 방법) • 국부 해석 • 의장 BOM 설계 • 설계 생산 계획 • 생산 계획 결단 계획 - 작업 계획 생산 생산 조립 계획 - 설치 계획 설계 설계 강재 자재 BOM • 생산 수량

sydlab

5







# 1. Determination of the Principal Dimensions by the Weight Equation Requirements

1. 중량식 요구조건에 따른 주요 치수 결정



## Determination of the Principal Dimensions by the Weight Equation

중량식에 따른 주요 치수 결정

- Weight equation

중량식

- Dimensions of a **deadweight carrier** whose design is **weight critical** are determined by the following equation.

중량을 기준으로 설계하는 재화중량 운반선의 치수는 다음 식으로 결정한다.

: Weight equation

$$\rho \cdot L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot (1 + \alpha) = DWT + LWT \quad \dots(3)$$

✓ Given: *DWT* (shipowner's requirement)

✓ Find: *L*, *B*, *T*, and *C<sub>B</sub>*

$DWT + LWT = W$

주어진: *DWT*(선주의 요구조건) 구함: *L*, *B*, *T* 및 *C<sub>B</sub>*

- Deadweight is given by the shipowner's requirement, whereas the total weight is not a given value. Thus, lightweight (*LWT*) should be estimated by an appropriate assumption.**

재화중량은 선주의 요구조건으로 주어지는 반면, 총중량은 주어진 값이 아니다. 따라서 경하중량(*LWT*)은 적절한 가정에 따라 추정해야 한다.



### How can you estimate the *LWT*?





8

4



## Weight Estimation: Method 1

Assume that the Lightweight is the Same as that of the Basis Ship. (1/3)

경하중량이 기준선과 같다고 가정한다. (1/3)

- At the early design stage, there are few data available for the estimation of the lightweight.

초기 설계 단계에서는 경하중량을 추정하는 데 이용할 수 있는 자료가 거의 없다.

- The simplest possible way of estimating the lightweight is to assume that the lightweight does not change in the variation of the principal dimensions.

경하중량을 추정하는 가장 간단한 방법은 주요 치수의 변화에 따라 경하중량이 변하지 않는다고 가정하는 것이다.

**Method 1: Assume that the lightweight is the same as that of**

방법 1: 경하중량이 다음과 같다고 가정한다  
**the basis ship.**

기준선.

$$LWT = LWT_{Basis}$$

기준

$$L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \rho \cdot (1 + \alpha) = DWT + LWT_{Basis} \quad \dots(4.1)$$

- Finding a solution for this equation is a complex matter, because there are 4 unknown variables ( $L$ ,  $B$ ,  $T$ , and  $C_B$ ) with one equation, which means this equation is a kind of **indeterminate equation**.

이 방정식의 해를 구하는 일은 복잡하다. 미지수가 4개( $L$ ,  $B$ ,  $T$ ,  $C_B$ )인데 방정식은 1개뿐이므로, 이 방정식은 일종의 부정방정식이기 때문이다.

- Moreover, the unknown variables are multiplied by each other, which means this equation is a kind of **nonlinear equation**.

또한 미지수들이 서로 곱해져 있으므로, 이 방정식은 비선형 방정식이기도 하다.

sydlab



9



## Weight Estimation: Method 1

Assume that the Lightweight is the Same as that of the Basis Ship. (2/3)

경하중량이 기준선과 같다고 가정한다. (2/3)

- The equation (4.1) is called **nonlinear indeterminate equation** which has infinitely many solutions.

방정식 (4.1)은 무한히 많은 해를 갖는 비선형 부정방정식이라고 한다.

$$L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \rho \cdot (1 + \alpha) = DWT + LWT_{Basis} \quad \dots(4.1)$$

- Therefore, we have to **assume three unknown variables** to solve this indeterminate equation.

따라서 이 부정방정식을 풀려면 미지수 3개를 가정해야 한다.

- The principal dimensions must be obtained by **successive iteration** until the displacement becomes equal to the total weight of ship. ( $\because$  nonlinear equation)

배수량이 선박의 총중량과 같아질 때까지 주요 치수를 반복적으로 구해야 한다. ( $\because$  비선형 방정식)

- We can have **many sets of solutions** by assuming different initial values. ( $\because$  indeterminate equation)

서로 다른 초기값을 가정하면 여러 해의 조합을 얻을 수 있다. ( $\because$  부정방정식)

- Thus, we need **certain criteria** to select a proper solution.

따라서 적절한 해를 선택하기 위한 일정한 기준이 필요하다.

sydlab



10

## Weight Estimation: Method 1

Assume that the Lightweight is the Same as that of the Basis Ship. (3/3)

경하중량이 기준선의 경하중량과 같다고 가정한다. (3/3)

- For example, this is the first set of solutions.

예를 들어, 이는 첫 번째 해 집합이다.

- The ratios of the principal dimensions  $L/B$ ,  $B/T$ , and  $C_B$  can be obtained from the basis ship.

주요 치수  $L/B$ ,  $B/T$  및  $C_B$ 의 비는 기준선에서 구할 수 있다.

- Substituting the ratios obtained from the basis ship into the equation (4.1), the equation can be converted to a cubic equation in  $L$ .

기준선에서 얻은 비를 식 (4.1)에 대입하면, 식을  $L$ 에 대한 3차 방정식으로 변환할 수 있다.

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

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

$$L \cdot \left( L \cdot \frac{B}{L} \right) \cdot \left( \frac{B}{L} \cdot \frac{T}{B} \right) \cdot C_B \cdot \rho \cdot (1 + \alpha) = W$$
$$L^2 \cdot \left( \frac{B}{L} \right) \cdot \left( L \cdot \frac{B}{L} \right) \cdot \left( \frac{T}{B} \right) \cdot C_B \cdot \rho \cdot (1 + \alpha) = W$$
$$L^3 \cdot \left( \frac{B}{L} \right)^2 \cdot \left( \frac{T}{B} \right) \cdot C_B \cdot \rho \cdot (1 + \alpha) = W$$

$L \cdot C_B \cdot \rho \cdot (1 + \alpha) = W$

$$L = \left( \frac{W \cdot (L/B)_{Basis}^2 \cdot (B/T)_{Basis}}{C_B \cdot \rho \cdot (1 + \alpha)} \right)^{\frac{1}{3}}$$

11

$W (L/B) (B/T) L C_B \rho (1 + \alpha)$

## Weight Estimation: Method 2

Assume that the Total Weight ( $W$ ) is Proportional to the Deadweight.

총중량( $W$ )이 재화중량에 비례한다고 가정한다.

Since the lightweight is assumed to be invariant in the 'Method 1', even though the principal dimensions are changed, the method might give too rough estimation.

How can you estimate the lightweight more accurately than the 'Method 1'?

**Method 2: Design ship and basis ship are assumed to have the same ratio of deadweight to total weight.**

방법 2: 설계선과 기준선의 재화중량 대 총중량 비가 같다고 가정한다.

재화중량 대 총중량의 동일한 비율.

$$\frac{DWT_{Basis}}{W_{Basis}} = \frac{DWT}{W}$$

Therefore, the total weight of design ship can be estimated by the ratio of deadweight to total weight of the basis ship.

따라서 설계선의 총중량은 다음과 같이 추정할 수 있다.

기준선의 재화중량 대 총중량 비를 이용해

$$W = \frac{W_{Basis}}{DWT_{Basis}} \cdot DWT$$
$$L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \rho \cdot (1 + \alpha) = W \dots (4.2)$$

**Weight equation**

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

**Given:**  $DWT$ , **Find:**  $L, B, T, C_B$

**Method ②:**  $W = \frac{W_{Basis}}{DWT_{Basis}} \cdot DWT$

12

$W (L/B) (B/T) L C_B \rho (1 + \alpha)$

6

### Weight Estimation: Method 3

Assume that the Lightweight Could Vary as the Volume of the Ship.

경하중량이 선박의 용적에 따라 달라질 수 있다고 가정한다.

The lightweight estimated in the 'Method 2' still has nothing to do with the variation of the principal dimensions.

How can you estimate the lightweight more accurately than the 'Method 2'?

**Method 3: Assume that the lightweight is dependent on the principal dimensions such as  $L$ ,  $B$ , and  $D$ .**

방법 3: 경하중량이  $L$ ,  $B$ ,  $D$ 와 같은 주요 치수에 의존한다고 가정한다.

$$LWT = f(L, B, D)$$

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

To estimate the lightweight, we will introduce the volume variable  $L \cdot B \cdot D$  and assume that  $LWT$  is proportional to  $L \cdot B \cdot D$ .

경하중량을 추정하기 위해 용적 변수  $L \cdot B \cdot D$ 를 도입하고,  $LWT$ 가  $L \cdot B \cdot D$ 에 비례한다고 가정한다.

$$LWT = C_{LWT} \cdot L \cdot B \cdot D$$

where the coefficient  $C_{LWT}$  can be obtained from the basis ship.

여기서 계수  $C_{LWT}$ 는 기준선에서 구할 수 있다.

$$L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \rho \cdot (1 + \alpha) = DWT + C_{LWT} \cdot L \cdot B \cdot D \quad \dots(4.3)$$

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| Weight equation                                                 |    |
| $\rho \cdot L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot (1 + \alpha) = W$ |    |
| $= DWT + LWT \dots(3)$                                          |    |
| Given: $DWT$ , Find: $L, B, T, C_B$                             |    |
| Method ③: $LWT = C_{LWT} \cdot L \cdot B \cdot D$               | 13 |

$L \cdot B \cdot T \cdot C_B \dots(4.2)$  (1)  $DWT \cdot C_B \cdot L \cdot B \cdot D \cdot B \cdot LWT \dots(4.3)$

### Weight Estimation: Method 4

Estimate the Lightweight in Three Components.

How can you estimate lightweight more accurately?

경하중량을 더 정확하게 추정하려면 어떻게 해야 하는가?

We assume that a ship is composed of hull structure, outfit, and machinery.

선박은 선체 구조, 의장 및 기관으로 구성된다고 가정한다.

Based on this assumption, the lightweight estimation would be more accurate, if we could estimate the weight of each components.

이 가정에 따르면 각 구성 요소의 중량을 추정할 수 있을 때 경하중량을 더 정확하게 추정할 수 있다.

**Method 4: Estimate the structural weight ( $W_s$ ), outfit weight ( $W_o$ ), and machinery weight ( $W_m$ ) in components.**

방법 4: 구조 중량( $W_s$ ), 의장 중량( $W_o$ ) 및  $W_m$  machinery weight ( $W_m$ ) in components.

구성 요소별 기관 중량( $W_m$ )을 추정한다.

$$LWT = W_s + W_o + W_m$$

How can you estimate  $W_s$ ,  $W_o$ , and  $W_m$ ?

Assume that  $W_s$ ,  $W_o$ ,  $W_m$  are dependent on the principal dimensions.

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| Weight equation                                                 |    |
| $\rho \cdot L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot (1 + \alpha) = W$ |    |
| $= DWT + LWT \dots(3)$                                          |    |
| Given: $DWT$ , Find: $L, B, T, C_B$                             |    |
| Method ④: $LWT = W_s + W_o + W_m$                               | 14 |

$W_s$ ,  $W_o$ ,  $W_m$ 이 주요 치수에 의존한다고 가정한다.

7



## Weight Estimation: Method 4

Estimation of the Structural Weight ( $W_s$ ): Method 4-1

구조 중량( $W_s$ ) 추정: 방법 4-1

$$LWT = \boxed{W_s} + W_o + W_m$$

$W_s$ : Structural weight  
 $W_o$ : Outfit weight  
 $W_m$ : Machinery weight

Assume that the structural weight ( $W_s$ ) is a function of  $L$ ,  $B$ , and  $D$  as follows:

구조 중량( $W_s$ )이 다음과 같이  $L$ ,  $B$  및  $D$ 의 함수라고 가정한다.

$$W_s = f(L, B, D)$$

Since the structural weight of a ship is actually composed of stiffened plate surfaces, some type of 'area variables' would be expected to provide a better correlation.

선박의 구조 중량은 실제로 보강재가 부착된 판 면으로 구성되므로, 어떤 유형의 '면적 변수'를 사용하면 더 나은 상관관계를 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

To estimate the structural weight, we will introduce an 'area variables' such as  $L \cdot B$  or  $B \cdot D$ .

구조 중량을 추정하기 위해  $L \cdot B$  또는  $B \cdot D$ 와 같은 '면적 변수'를 도입한다.

$$W_s = f(L \cdot B, B \cdot D)$$

For example, assume that structural weight is proportional to  $L^\alpha$  and  $(B+D)^\beta$ .

예를 들어, 구조 중량이  $L^\alpha$  및  $(B+D)^\beta$ 에 비례한다고 가정한다.

Method 4-1:

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

Parameters ( $C_s, \alpha, \beta$ ) can be obtained from as-built ship data [by regression analysis](#).

 sydlab

\* Regression analysis is a numerical method which can be used to develop equations or models from data when there is no or limited physical or theoretical basis for a specific model. It is very useful in developing parametric models for use at the early design stage.



15

매개변수( $C_s, \alpha, \beta$ )는 실선 데이터에 회귀 분석을 적용하여 구할 수 있다.



## Weight Estimation: Method 4

Estimation of the Structural Weight ( $W_s$ ): Method 4-1

구조 중량( $W_s$ ) 추정: 방법 4-1

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

(a) To perform the regression analysis, we transform the above nonlinear equation into a linear form by applying a logarithmic operation on both sides, resulting in a logarithmic equation.

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

$Y$

$A_0$

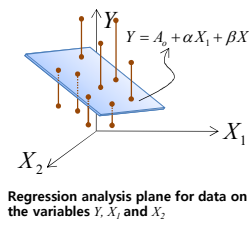
$X_1$

$X_2$

: Logarithmic Form

$$\rightarrow Y = A_0 + \alpha X_1 + \beta X_2$$

: Linear Equation



Regression analysis plane for data on the variables  $Y, X_1$  and  $X_2$

(a) 회귀 분석을 수행하기 위해 위의 비선형 방정식에 양변의 로그  $Y$  연산을 적용하여 로그 방정식으로 변환함으로써 선형식으로 바꾼다.

(b) If sets of as-built ship data ( $X_{1i}, X_{2i}, Y_i$ ) are available, then the parameters can be obtained

(b) 실선 데이터 집합 ( $X_{1i}, X_{2i}, Y_i$ )이 주어지면, 데이터 집합과 추정 함수값 사이의 차이인 제곱 오차의 합을 최소화하는 함수, 즉 "최소제곱법"을 구함으로써 매개변수를 얻을 수 있다.

by finding a function that minimizes the sum of the squared errors, "[least square method](#)", which is the difference between the sets of the data and the estimated function values.

데이터 집합과 추정 함수 값의 차이의 제곱합을 최소화하는 함수를 구하는 방법인 "최소제곱법"으로 구한다.

$$\rightarrow C_s, \alpha = 1.6, \beta = 1$$

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

e.g., for 302K VLCC,  $C_s = 0.0414$

The above equation indicates that length ( $L$ ) has a significantly greater exponential effect on the structural weight ( $W_s$ ) compared to variables  $B$  and  $D$ .

 sydlab



16

8

## Weight Estimation: Method 4

Estimation of the Outfit Weight ( $W_o$ ): Method 4-2

$$LWT = W_s + \boxed{W_o} + W_m$$

$W_s$ : Structural weight  
 $W_o$ : Outfit weight  
 $W_m$ : Machinery weight

Assume that the outfit weight ( $W_o$ ) is a function of  $L$  and  $B$ :  $W_o = f(L, B)$

의장 중량( $W_o$ )은  $L$ 과  $B$ 의 함수라고 가정한다:  $W_o = f(L, B)$

To estimate the outfit weight, we will use the area variable  $L \cdot B$ .

의장 중량을 추정하기 위해 면적 변수  $L \cdot B$ 를 사용한다.

$$W_o = f(L \cdot B)$$

$W_o = f(L \cdot B)$

For example, assume that outfit weight ( $W_o$ ) is proportional to  $L \cdot B$ .

예를 들어, 의장 중량( $W_o$ )이  $L \cdot B$ 에 비례한다고 가정한다.

**Method 4-2:**

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

where the coefficient  $C_o$  can be obtained from the basis ship.

여기서 계수  $C_o$ 는 기준선에서 구할 수 있다.

**Weight equation**

$$\rho \cdot L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot (1 + \alpha) = W$$
$$= DWT + LWT \dots (3)$$

Given:  $DWT$ , Find:  $L, B, T, C_B$

**Method ④:**  $LWT = W_s + \boxed{W_o} + W_m$

17

SYDLAB  
SOLUTIONS

## Weight Estimation: Method 4

Estimation of the Machinery Weight ( $W_m$ ): Method 4-3

기관 중량( $W_m$ ) 추정: 방법 4-3

$$LWT = W_s + W_o + \boxed{W_m}$$

$W_s$ : Structural weight  
 $W_o$ : Outfit weight  
 $W_m$ : Machinery weight

To estimate the machinery weight, assume that the machinery weight ( $W_m$ ) is a function of  $NMCR$ :

기관 중량을 추정하기 위해 기관 중량( $W_s$ )이  $NMCR$ 의 함수라고 가정한다:

$$W_m = f(NMCR)$$

$W_m = f(NMCR)$

For example, assume that machinery weight is proportional to  $NMCR$ :

예를 들어, 기관 중량이  $NMCR$ 에 비례한다고 가정한다:

**Method 4-3:**

$$W_m = C_m \cdot NMCR$$

where the coefficient  $C_m$  can be obtained from the basis ship.

여기서 계수  $C_m$ 은 기준선에서 구할 수 있다.

\* **NMCR (Nominal Maximum Continuous Rating)** is the maximum power/speed combination available for the engine and is a criterion for the size, weight, fuel oil consumption, and cost of the main engine.

$NMCR$ (공칭 최대 연속 출력)은 기관에 사용할 수 있는 최대 출력·회전수 조합이며, 주기관의 크기, 중량, 연료유 소비량 및 비용을 결정하는 기준이다.

Then, how can you predict the **NMCR**?

**Weight equation**

$$\rho \cdot L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot (1 + \alpha) = W$$
$$= DWT + LWT \dots (3)$$

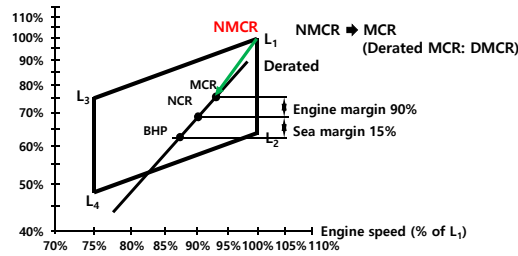
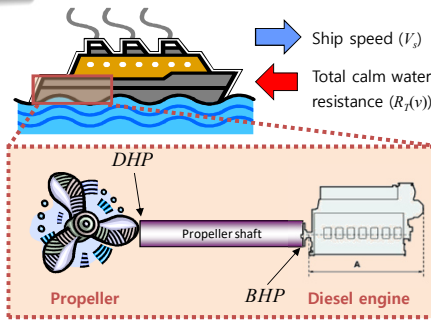
Given:  $DWT$ , Find:  $L, B, T, C_B$

**Method ④:**  $LWT = W_s + W_o + \boxed{W_m}$

18

SYDLAB  
SOLUTIONS

출력(L1의 %) 4NCR(정상 연속 출력)



## Prediction of the NMCR by the Admiralty Formula

Admiralty Coefficient: A Kind of Propulsive Efficiency ( $\eta_D$ )

해군성 공식에 의한 NMCR 예측 해군성 계수: 추진 효율의 일종 (D)

**Admiralty formula:**

해군성 공식:

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

↓  $C_{ad}$ : Admiralty coefficient

Cad: 해군성 계수

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

평수 상태

Since  $\Delta^{2/3} \cdot V^3$  is proportional to **EHP**, the Admiralty coefficient can be regarded as a kind of propulsive efficiency ( $\eta_D$ ).

2/3·Vs 3은 EHP에 비례하므로 해군성 계수는 일종의 추진 효율(D)로 간주할 수 있다.

$$\eta_D = \frac{EHP}{DHP}$$

However, this should be used only for a rough prediction. After the principal dimensions are determined, **DHP** needs to be predicted more accurately based on the prediction of resistance and power (see [Ch. 6 Resistance Prediction](#)).

그러나 이는 개략적인 예측에만 사용해야 한다.

21

주요 치수가 결정된 후에는 저항과 동력의 예측에 근거하여 DHP를 더 정확하게 예측해야 한다(제6장 저항 예측 참조).

## Equation for the Machinery Weight

Representation with Principal Dimensions

기관 중량 방정식

$$W_m = C_m \cdot NMCR$$

$$NMCR = \frac{1}{\eta_T} \cdot \left(1 + \frac{\text{Sea Margine}}{100}\right) \cdot \frac{1}{\text{Engine Margin}} \cdot \frac{1}{\text{Derating ratio}} \cdot DHP_{Calmwater}$$
$$= C_1 \cdot DHP_{Calmwater}$$

$$DHP_{Calmwater} = \frac{\Delta^{2/3} \cdot V_s^3}{C_{ad}}, \text{ (Admiralty formula)}$$
$$\Delta = \rho \cdot L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot (1 + \alpha)$$

$$W_m = C_m \cdot \frac{C_1}{C_{ad}} \cdot (\rho \cdot L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot (1 + \alpha))^{2/3} \cdot V_s^3$$

$$W_m = C_{power} \cdot (\rho \cdot L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot (1 + \alpha))^{2/3} \cdot V_s^3$$

Define  
$$C_{power} \equiv C_m \cdot \frac{C_1}{C_{ad}}$$

1 해상 여유 11 NMCR (1) DHP 평수 상태 100 엔진 마진 감쇠 비율 평수 상태

If the machinery weight is changed due to the updated NMCR; the principal dimension must be adjusted accordingly.

22

업데이트된 NMCR로 인해 기관 중량이 변경되면 주요 치수도 이에 맞게 조정해야 한다. 이 방정식의 해를 구하는 일은 미지수가 5개(L, B, D, T, CB)인데 방정식은 1개뿐이므로 복잡하다. 즉, 이 방정식은 일종의 부정방정식이다.

11

## Weight Equation

Representation with Principal Dimensions

$$L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \rho \cdot (1 + \alpha) = DWT + LWT \quad \dots(3)$$

$$LWT = W_s + W_o + W_m$$

{

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

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

$$W_m = C_m \cdot NMCR$$

$$= C_{power} \cdot (L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot (1 + \alpha))^{2/3} \cdot V_s^3$$

$$L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \rho \cdot (1 + \alpha) = DWT + C_s \cdot L^{1.6} \cdot (B + D) + C_o \cdot L \cdot B + C_{power} \cdot (\rho \cdot L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot (1 + \alpha))^{2/3} \cdot V_s^3 \quad \dots(4.4)$$

**Weight equation**

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

**Given:** DWT, **Find:** L, B, T, C<sub>B</sub>

---

**Method ④:**  $LWT = W_s + W_o + W_m$   
 $W_m = C_m \cdot NMCR$

$W_s$ : Structural weight  
 $W_o$ : Outfit weight  
 $W_m$ : Machinery weight  
 $V_s$ : Speed of ship  
 $\Delta$ : Displacement  
 $\rho$ : Density of seawater [ton/m<sup>3</sup>]

- Finding a solution to this equation is a complex matter because there are 5 unknown variables (L, B, D, T, and C<sub>B</sub>) with one equation, which means this equation is a kind of **indeterminate equation**.
- Moreover, the unknown variables are multiplied by each other, which means this equation is a kind of **nonlinear equation**. Therefore, we have to **assume** four unknown variables to solve this indeterminate equation.
- The principal dimensions must be obtained by successive **iteration** until the displacement becomes equal to 주요 치수는 배수량이 같아질 때까지 연속적인 반복 계산을 통해 구해야 한다

the total weight of the ship (∴ nonlinear equation). We can have **many sets of solutions** by assuming different initial values (∴ indeterminate equation). Thus, we need **certain criteria** to select a proper solution.



## Criteria to Select a Proper Solution

### Objective Function

#### 적절한 해를 선택하는 기준

- What kind of **criteria** are available to select a proper solution?

적절한 해를 선택하기 위해 어떤 기준을 사용할 수 있는가?

- Possible criteria (**Objective Function**)

가능한 기준(목적 함수)

- For a shipbuilding company: Shipbuilding cost

선박 건조 회사의 경우: 선박 건조비

- For a shipping company:

해운 회사의 경우:

- Less power → Less energy consumption

더 적은 출력, 더 적은 에너지 소비

- Minimum OPERational EXPENDITURE (OPEX)

최소 운영비(OPEX)

- Operability → Required Freight Rate (RFR)

운항성, 요구 운임률(RFR)

- Minimum CAPital EXPENDITURE (CAPEX)

최소 자본 지출(CAPEX)

- Minimum main engine power/DWT

최소 주기관 출력/DWT

- For example, shipping company will adopt an objective function as RFR, then the design ship should have the least RFR expressed as:

예를 들어 해운 회사가 RFR을 목적 함수로 채택한다면, 설계 선박은 다음과 같이 표현되는 최소 RFR을 가져야 한다:

$$RFR = \frac{\text{Capital cost} + \text{Annual operating cost}}{\text{Annual transported cargo quantity}}$$

\*Capital cost = Building cost × Capital recovery factor.

\*CRF(Capital Recovery Factor) =  $\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$





## 2. Determination of the Principal Dimensions by the Volume Equation

2. 용적식에 의한 주요 치수 결정



### Determination of the Principal Dimensions by the Volume Equation

■ Volume equation

용적식

- Principal dimensions have to satisfy the required capacity of the cargo hold

주요 치수는 화물창의 요구 용적을 만족해야 한다

( $V_{CH}$ ).

- Dimensions of a volume carrier whose design is volume critical can be determined by the following equation.

용적이 설계의 지배적 요소인 용적 화물선의 치수는 다음 식으로 결정할 수 있다.

$$V_{CH} = f(L, B, D)$$

: Volume equation

✓ Given: Capacity of the cargo hold ( $V_{CH}$ ) [ $m^3$ ] (shipowner's requirement)

주어진 값: 화물창 용적( $V_{CH}$ ) [ $m^3$ ](선주 요구조건)

✓ Find:  $L$ ,  $B$ , and  $D$

구할 값:  $L$ ,  $B$ ,  $D$



How can you represent the capacity of the cargo hold in terms of the principal dimensions?

화물창 용적을 주요 치수로 어떻게 나타낼 수 있는가?





26

## Estimation of the Capacity of the Cargo Hold

### Method 1

How can you estimate the capacity of cargo hold?

화물창 용적 추정

**Method 1:** Assume that the capacity of cargo hold is proportional to  $(L \cdot B \cdot D)$ .

방법 1: 화물창 용적이  $(L \cdot B \cdot D)$ 에 비례한다고 가정한다.

$$V_{CH} = C_{CH} \cdot L \cdot B \cdot D$$

where, the coefficient  $C_{CH}$  can be obtained from the basis ship.

여기서 계수  $C_{CH}$ 는 기준선으로부터 구할 수 있다.

It will be noted that finding a solution to this equation is a complex matter, because there are **3 unknown variables** ( $L$ ,  $B$ , and  $D$ ) with one equation, which means this equation is also a kind of indeterminate equation.

이 방정식의 해를 구하는 것은 복잡한 문제라는 점에 유의해야 한다. 3개의 미지수( $L$ ,  $B$ ,  $D$ )가 1개의 방정식에 포함되어 있으므로, 이 방정식은 미정 방정식의 일종이기도 하다.

Moreover, the unknown variables are multiplied by each other, which means this equation is a kind of nonlinear equation.

더욱이 미지수들이 서로 곱해져 있으므로, 이 방정식은 비선형 방정식의 일종이다.

This kind of equation is called a nonlinear indeterminate equation, which has infinitely many solutions.

**Volume equation**  
 $V_{CH} = f(L, B, D)$   
Given:  $V_{CH}$  Find:  $L, B, D$

**Method ①:**  $f(L, B, D) = C_{CH} \cdot L \cdot B \cdot D$

이러한 방정식을 비선형 미정 방정식이라고 하며,

## Estimation of the Capacity of the Cargo Hold

### Method 2

Hold capacity can be estimated more accurately by using the length of cargo hold ( $L_H$ ) instead of the ship's length ( $L$ )

화물창 용적 추정 화물창 용적은 다음의 길이를 사용하면 더 정확하게 추정할 수 있다.

**Method 2:** Assume that the cargo hold capacity is proportional to  $(L_H \cdot B \cdot D)$ .

$$V_{CH} = C_{CH} \cdot L_H \cdot B \cdot D$$

$L_H$ : **Length of the cargo hold**

The Length of cargo hold ( $L_H$ ) is defined as being  $L_{BP}$  subtracted by  $L_{APT}$ ,  $L_{ER}$ , and  $L_{FPT}$ :

방법 2: 화물창 용적이  $(L_H \cdot B \cdot D)$ 에 비례한다고 가정한다.

$$L_H = L_{BP} - L_{APT} - L_{ER} - L_{FPT}$$

$L_{BP}$ : Length between perpendicular

$L_{APT}$ : Length between aft perpendicular to aft bulkhead

$L_{FPT}$ : Length between forward perpendicular to collision bulkhead

$L_{ER}$ : Length of engine room

where, the coefficient ( $C_{CH}$ ) and partial lengths,  $L_{APT}$ ,  $L_{ER}$ , and  $L_{FPT}$  can be obtained from the basis ship.

**Volume equation**  
 $V_{CH} = f(L, B, D)$   
Given:  $V_{CH}$  Find:  $L, B, D$

**Method ②:**  $f(L, B, D) = C_{CH} \cdot L_H \cdot B \cdot D \cdot C_{MD}$

14



### Determination of the Principal Dimensions by the Volume Equation

Summary

용적식에 의한 주요 치수 결정

**Method 1:** Assume that the capacity of cargo hold is proportional to  $L \cdot B \cdot D$ .

방법 1: 화물창 용량이  $L \cdot B \cdot D$ 에 비례한다고 가정한다.

$$V_{CH} = C_{CH} \cdot L \cdot B \cdot D$$

**Method 2:** Assume that the capacity of cargo hold is proportional to  $L_H \cdot B \cdot D$ .

방법 2: 화물창 용량이  $L_H \cdot B \cdot D$ 에 비례한다고 가정한다.

$$V_{CH} = C_{CH} \cdot L_H \cdot B \cdot D$$



Since the Methods 1 and 2 are used for a **rough estimation**, the capacity of cargo hold **should be estimated more accurately** after the compartment arrangement has been made.

방법 1과 방법 2는 개략적인 추정치에 사용되므로, 구획 배치를 완료한 후 화물창 용량을 더 정확하게 추정해야 한다.





29





## 3. Estimation of Freeboard



## What is Freeboard?

### International Convention on Load Lines (ICLL) 1966

국제 만재할수선 협약(ICLL 1966)

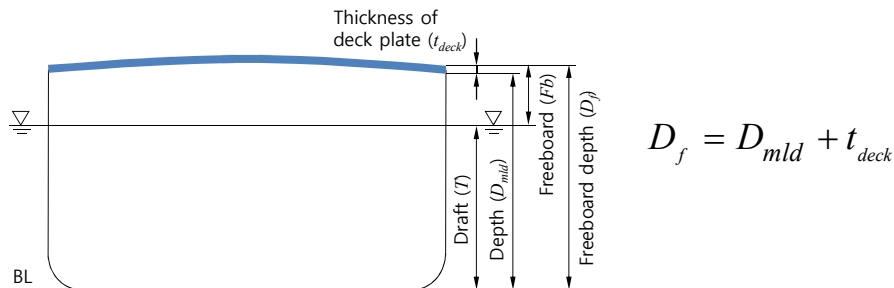
- Ships need safety margin to maintain buoyancy and stability while operating at sea.

선박은 해상에서 운항하는 동안 부력과 복원성을 유지하기 위한 안전 여유가 필요하다.

- This safety margin is provided by the **reserve of buoyancy** of

이러한 안전 여유는 다음의 예비 부력으로 제공된다.

the hull located above the water surface.



- Freeboard ( $Fb$ ) means the distance between the water surface and the top of the deck at the side (at the deck line). It includes the thickness ( $t_{deck}$ ) of freeboard deck plating.

건현(Fb)은 수면과 선측 갑판 상단(갑판선)의 수직 거리를 의미한다. 여기에는 건현 갑판 판재의 두께(tdeck)가 포함된다.

- The freeboard is closely related to the draft.

건현은 흘수와 밀접한 관련이 있다.

- A 'freeboard calculation' in accordance with the regulation determines whether the desired depth is permissible.

sydlab

31

규정에 따른 '건현 계산'을 통해 원하는 깊이가 허용되는지 결정한다.



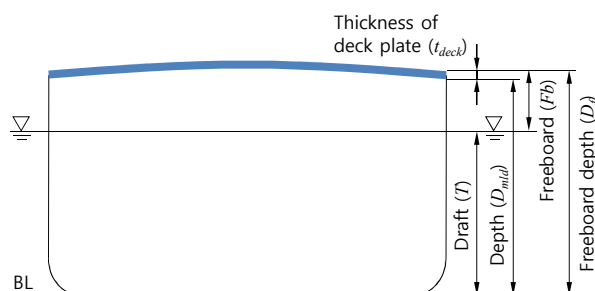
## Regulatory Constraint by ICLL 1966

Freeboard Inequality

ICLL 1966에 따른 규정 제약

- ✓ Actual freeboard ( $D_{FB} - T$ ) of a ship should **not be less** than the required freeboard ( $Fb_{ICLL}$ ) required by the ICLL 1966 regulation.

선박의 실제 건현( $D_{FB} - T$ )은 ICLL 1966 규정에서 요구하는 요구 건현( $Fb_{ICLL}$ ) 이상이어야 한다.



$$D_{Fb} - T \geq Fb_{ICLL}(L, B, D, C_B) \quad \text{: Freeboard inequality}$$

$D, T, Fb, L, B, D, C_B$  : 건현 부등식

This draft should be the maximum operating draft of the ship, that is, **scantling draft** ( $T_s$ ).



How can you determine the required freeboard ( $Fb$ )?

sydlab

32

이 흘수는 선박의 최대 운항 흘수이어야 한다. 요구 건현(Fb)은 어떻게 결정할 수 있는가?

## Estimation of Freeboard

**How can you determine the required freeboard ( $Fb$ ) ?**

At the early design stage, there are few data available to calculate required freeboard. Thus, the required freeboard can be roughly estimated from the basis ship.

설계 초기 단계에서는 필요한 견현을 계산하는 데 사용할 수 있는 데이터가 거의 없다.

따라서 필요한 견현은 기준선으로부터 대략적으로 추정할 수 있다.

**Assume that the freeboard is proportional to the depth.**

견현이 깊이에 비례한다고 가정한다.

$$Fb_{ICLL}(L, B, D, C_B) = C_{Fb} \cdot D$$

$$D_{Fb} \geq T_s + C_{Fb} \cdot D$$

where the coefficient  $C_{Fb}$  can be obtained from the basis ship.

여기서 계수  $C_{Fb}$ 는 기준선으로부터 구할 수 있다.

In progress of the design, however, the required freeboard has to be calculated in accordance with **ICLL 1966**.

$$Fb_{ICLL}(L, B, D, C_B) = f(L_f, D, C_B, Superstructure_{Length}, Superstructure_{Height}, Sheer)$$

**If ICLL 1966 regulation is not satisfied, the depth should be changed.**

**Volume equation**

$$D_{Fb} \geq T + Fb_{ICLL}(L, B, D_{mid}, C_B)$$

Given:  $L, B, D (= D_{mid}), T, C_B$     Check: Satisfaction of the freeboard regulation

$$Fb_{ICLL}(L, B, D, C_B) = C_{Fb} \cdot D$$

33

## 4. Recommendation on Block Coefficient



## Recommendation on Block Coefficient

Empirical Formulas

방형계수 권고

- Recommended value for the **obesity coefficient** considering **maneuverability**

$C_B / (L/B) \leq 0.15$

(slender)  
 $L/B \uparrow \Rightarrow$  Coefficient  $\downarrow \Rightarrow$  Maneuverability  $\uparrow$   
 $L/B \downarrow \Rightarrow$  Coefficient  $\uparrow \Rightarrow$  Maneuverability  $\downarrow$   
(fat)

조종성을 고려한 방형계수 권고값

- Recommended value for  $C_B$  proposed by **Watson and Gilfillan**

Watson과 Gilfillan이 제안한 CB 권고값

- This formula seems to confirm its continuing validity, and many naval architects are using this equation up to now.

이 공식은 현재까지도 유효함을 확인해 주는 것으로 보이며, 많은 선박 설계자가 지금까지 이 방정식을 사용하고 있다.

$C_B \leq 0.70 + 0.125 \tan^{-1}((23 - 100Fn)/4)$ 

$F_n$ : Froude number

$F_n$ : 프루드 수



35



## 5. Estimation of Shipbuilding Cost







## Estimation of Shipbuilding Cost (1/2)

Objective Function (Criteria to Select a Proper Principal Dimensions)

**Assume that the shipbuilding cost is proportional to the weight of the ship.**

$$\text{Shipbuilding Cost} = C_{PS} \cdot W_s + C_{PO} \cdot W_o + C_{PM} \cdot W_m$$

**If the weight of the ship is represented by the main dimensions of the ship, the shipbuilding cost can be represented by them as follows:**

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

where

$C_{PS}$ : Coefficient related to the cost of the structure (steel)

$C_{PO}$ : Coefficient related to the cost of the outfit

$C_{PM}$ : Coefficient related to the cost of the machinery

**The above coefficients can be obtained from the as-built ship data.**

e.g., The value of the coefficients obtained from the 302K VLCC.

$$C_{PS} = 2,223, C_{PO} = 4,834, C_{PM} = 17,177$$



37



## Estimation of Shipbuilding Cost (2/2)

Method to Obtain the Coefficients Related to the Cost

**The shipbuilding cost is composed as follows:**

$$\begin{aligned} \text{Shipbuilding Cost} &= (\text{Man-hour for the steel structure} + \text{Material cost for the steel structure}) \\ &\quad + (\text{Man-hour for the outfit} + \text{Material cost for the outfit}) \\ &\quad + (\text{Man-hour for the machinery} + \text{Material cost for the machinery}) \\ &\quad + \text{Additional cost} \end{aligned}$$

※ The shipbuilding cost of the VLCC was about \$95,000,000 in 2020.

**If we assume that the shipbuilding cost is proportional to the weight of the ship and the weight of the ship is composed of the steel structure weight, outfit weight and machinery weight, the shipbuilding cost can be represented as follows.**

$$\text{Shipbuilding Cost} = C_{PS} \cdot W_s + C_{PO} \cdot W_o + C_{PM} \cdot W_m$$

where

$C_{PS}$ : Coefficient related to the cost of the structure (steel)

$C_{PO}$ : Coefficient related to the cost of the outfit

$C_{PM}$ : Coefficient related to the cost of the machinery

$$C_{PS} = \frac{(\text{Man-hour for the steel structure} + \text{Material cost for the steel structure})}{W_s}$$

$$C_{PO} = \frac{(\text{Man-hour for the outfit} + \text{Material cost for the outfit})}{W_o}$$

$$C_{PM} = \frac{(\text{Man-hour for the machinery} + \text{Material cost for the machinery})}{W_m}$$



38



**[Reference] Shipbuilding Cost by Ship Type**

[참고] 선종별 선박 건조비

| 최근 5년간 신조선가치수 및 선박 가격 |    |                   |                  |                      | (단위: 달러)                      |
|-----------------------|----|-------------------|------------------|----------------------|-------------------------------|
|                       |    | 신조선가치수<br>(Index) | LNG운반선<br>(174K) | 대형 유조선<br>(315~320K) | 컨테이너선<br>(22000<br>~24000TEU) |
| 2019년                 | 4월 | 130.80            | 1억8500만          | 9300만                | 1억4700만                       |
| 2020년                 | 4월 | 128.42            | 1억8600만          | 9100만                | 1억4500만                       |
| 2021년                 | 4월 | 133.76            | 1억8800만          | 9300만                | 1억5600만                       |
| 2022년                 | 3월 | 156.17            | 2억2200만          | 1억1500만              | 1억9900만                       |
|                       | 4월 | 157.78            | 2억2400만          | 1억1600만              | 2억300만                        |
| 2023년                 | 1월 | 162.51            | 2억4800만          | 1억2000만              | 2억1500만                       |
|                       | 2월 | 163.69            | 2억5000만          | 1억2000만              | 2억1500만                       |
|                       | 3월 | 165.56            | 2억5400만          | 1억2000만              | 2억1500만                       |
|                       | 4월 | 167.32            | 2억5600만          | 1억2200만              | 2억1700만                       |

\* 신조선가치수 (Index): 1988년 1월 기준 선박 건조 비용을 100으로 정하고, 매달 가격을 비교해 매기는 수치. 이 지수가 100보다 크면 선가가 올랐다는 의미

Clarkson Research

39



**[Reference] International Competitive Power of the Domestic Shipbuilding**

■ Comparison of the Shipbuilding Cost [Unit: %]

선박 건조비 비교 [단위: %]

|               |           | Korea | Japan | China |
|---------------|-----------|-------|-------|-------|
| Material Cost | Steel     | 17    | 17    | 18    |
|               | Equipment | 42    | 43    | 47    |
|               | Sub sum   | 59    | 60    | 65    |
| Labor Cost    |           | 27    | 29    | 19    |
| General Cost  |           | 14    | 13    | 16    |
| Total sum     |           | 100   | 100   | 100   |

SOUL MFL UREX

40

 **[Reference] Recent Ship Orders**

최근 5년간 수주실적

| 연도별   | 전세계  |      | 한국  |      |    | 중국   |      |    | 일본  |      |    | 기타  |      |    |
|-------|------|------|-----|------|----|------|------|----|-----|------|----|-----|------|----|
|       | 척    | 만CGT | 척   | 만CGT | %  | 척    | 만CGT | %  | 척   | 만CGT | %  | 척   | 만CGT | %  |
| 2018년 | 1478 | 3575 | 286 | 1353 | 38 | 589  | 1116 | 31 | 378 | 700  | 20 | 225 | 406  | 11 |
| 2019년 | 1441 | 3124 | 231 | 1007 | 32 | 630  | 1131 | 36 | 318 | 522  | 17 | 262 | 464  | 15 |
| 2020년 | 1276 | 2595 | 200 | 891  | 34 | 666  | 1127 | 43 | 222 | 341  | 13 | 188 | 236  | 10 |
| 2021년 | 2270 | 5429 | 408 | 1778 | 33 | 1298 | 2704 | 50 | 351 | 669  | 12 | 213 | 278  | 5  |
| 2022년 | 1523 | 4553 | 301 | 1672 | 37 | 789  | 2224 | 49 | 225 | 416  | 9  | 208 | 241  | 5  |

| 누계 (1~4월) | 전세계 |      | 한국  |      |    | 중국  |      |    | 일본  |      |    | 기타  |      |    |
|-----------|-----|------|-----|------|----|-----|------|----|-----|------|----|-----|------|----|
|           | 척   | 만CGT | 척   | 만CGT | %  | 척   | 만CGT | %  | 척   | 만CGT | %  | 척   | 만CGT | %  |
| 2019년     | 615 | 1185 | 57  | 257  | 22 | 302 | 515  | 43 | 120 | 203  | 17 | 136 | 210  | 18 |
| 2020년     | 512 | 742  | 30  | 87   | 12 | 296 | 439  | 59 | 96  | 143  | 19 | 90  | 73   | 10 |
| 2021년     | 862 | 2165 | 181 | 730  | 34 | 487 | 1082 | 50 | 120 | 260  | 12 | 74  | 93   | 4  |
| 2022년     | 674 | 1797 | 131 | 637  | 36 | 344 | 904  | 50 | 109 | 173  | 10 | 90  | 83   | 4  |
| 2023년     | 369 | 1011 | 79  | 364  | 36 | 220 | 501  | 50 | 34  | 98   | 10 | 36  | 48   | 4  |

| 월별 (4월)  | 전세계 |      | 한국 |      |    | 중국  |      |    | 일본 |      |    | 기타 |      |    |
|----------|-----|------|----|------|----|-----|------|----|----|------|----|----|------|----|
|          | 척   | 만CGT | 척  | 만CGT | %  | 척   | 만CGT | %  | 척  | 만CGT | %  | 척  | 만CGT | %  |
| 2019년 4월 | 95  | 207  | 9  | 47   | 23 | 54  | 107  | 52 | 19 | 39   | 19 | 13 | 14   | 7  |
| 2020년 4월 | 109 | 191  | 9  | 30   | 16 | 71  | 124  | 65 | 10 | 15   | 8  | 19 | 22   | 12 |
| 2021년 4월 | 194 | 470  | 35 | 129  | 28 | 125 | 281  | 60 | 22 | 40   | 9  | 12 | 20   | 4  |
| 2022년 4월 | 153 | 486  | 22 | 116  | 24 | 94  | 310  | 64 | 27 | 49   | 10 | 10 | 11   | 2  |
| 2023년 4월 | 80  | 185  | 13 | 38   | 20 | 62  | 141  | 76 | 5  | 6    | 3  | -  | -    | 1  |

 41

**sydlab**  
SOLUTION FULFILLER \* Reference: Clarkson Research





## 6. Design Model for the Principal Dimensions Design

Determination of the Optimal Principal Dimensions

## Design Model for the Principal Dimensions Design

Simplified Model for the Determination of the Optimal Principal Dimensions

**Find (Design variables)**  $L, B, D, C_B, T_d$   
Length Breadth Depth Block coefficient Design draft

**Given (Shipowner's requirement)**  $DWT, V_{CH}, V, T_s (= T_{\max})$   
Deadweight Required capacity of the cargo hold Ship speed Scantling draft

**Physical constraint**

→ Hydrostatic equilibrium (**Weight equation**) - Equality constraint

$$L \cdot B \cdot T_d \cdot C_B \cdot \rho_{sw} \cdot C_\alpha = DWT_{\text{given}} + LWT(L, B, D, C_B)$$

$$= DWT_{\text{given}} + C_s \cdot L^{1.6} (B + D) + C_o \cdot L \cdot B$$

$$+ C_{\text{power}} \cdot (L \cdot B \cdot T_d \cdot C_B)^{2/3} \cdot V^3$$

**Economical constraints**

→ Required capacity of the cargo hold (**Volume equation**) - Equality constraint

$$V_{CH} = C_H \cdot L \cdot B \cdot D$$

**Regulatory constraint**

→ Freeboard regulation by ICLL 1966 (**Freeboard inequality**) - Inequality constraint

$$D \geq T_s + C_{FB} \cdot D$$

**Objective function** (Criteria to select proper principal dimensions)

$$\text{Shipbuilding Cost} = C_{PS} \cdot C_s \cdot L^{1.6} (B + D) + C_{PO} \cdot C_o \cdot L \cdot B$$

$$+ C_{PM} \cdot C_{\text{power}} \cdot (L \cdot B \cdot T_d \cdot C_B)^{2/3} \cdot V^3$$

43

