



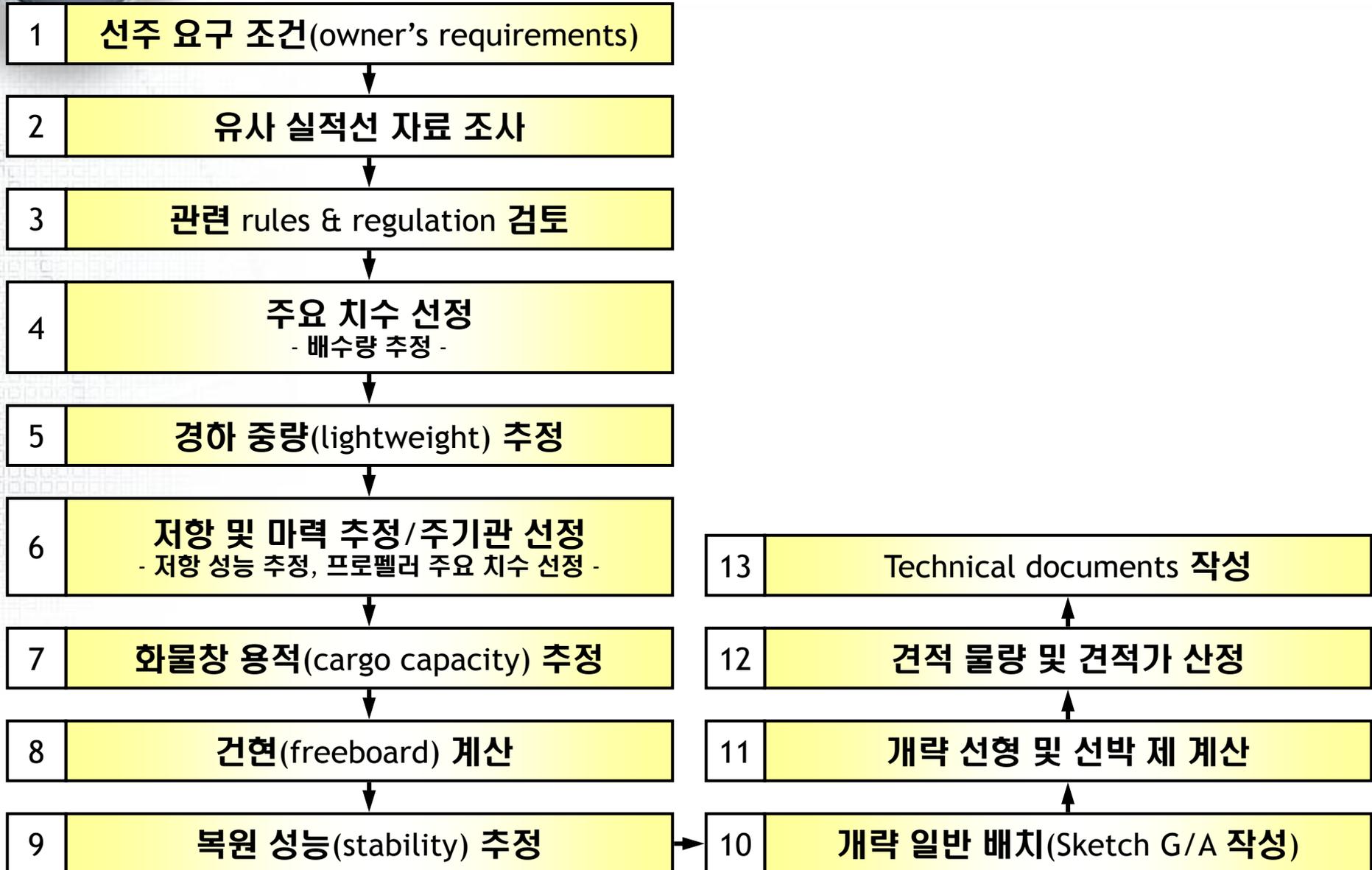
# Freeboard Calculation (건현 계산)

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 |



1 선주 요구 조건(owner's requirements)

2 유사 실적선 자료 조사

3 관련 rules & regulation 검토

4 주요 치수 선정  
- 배수량 추정 -

5 경하 중량(lightweight) 추정

6 저항 및 마력 추정/주기판 선정  
- 저항 성능 추정, 프로펠러 주요 치수 선정 -

7 화물창 용적(cargo capacity) 추정

8 건현(freeboard) 계산

9 복원 성능(stability) 추정

13 Technical documents 작성

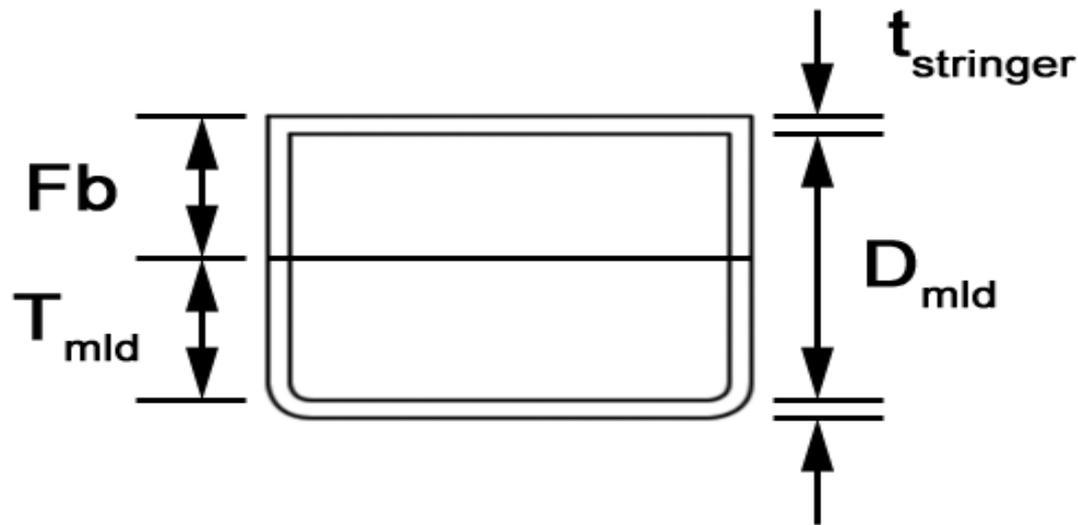
12 견적 물량 및 견적가 산정

11 개략 선형 및 선박 제 계산

10 개략 일반 배치(Sketch G/A 작성)

# 8. 건현 계산(1)

## - 건현(Freeboard)의 정의



### ■ 건현

- 흘수로부터 Upper Deck의 두께를 포함한 높이

### ■ 건현용 깊이

- 건현용 깊이( $D_f$ )

$$D_f = D_{mld} + t_{stringer}$$

선박 중앙의 형 깊이

갑판 스트링거 판의 두께

## 8. 건현 계산(2)

### - 목적

#### ■ 목적

- 선박의 안전에 필요한 **예비부력을 확보**하기 위하여 최소 건현을 규정하고 있으며 선박에 지정될 수 있는 최소건현은 그 선박의 치수와 특징에 따라 만재흘수선 규칙으로부터 결정된다.

#### ■ 근거

- 국제 만재 흘수선 조약 (ICLL 1966), International Convention on Load Line

#### ■ 적용범위

- ICLL 1966 Art. 4&5 조약에 따라 국제 항해(International Voyage)하는 길이 24m 이상 선박.
- 단, 군함, 유람요트, 어선, 총톤수 105톤 미만의 현존선은 제외.

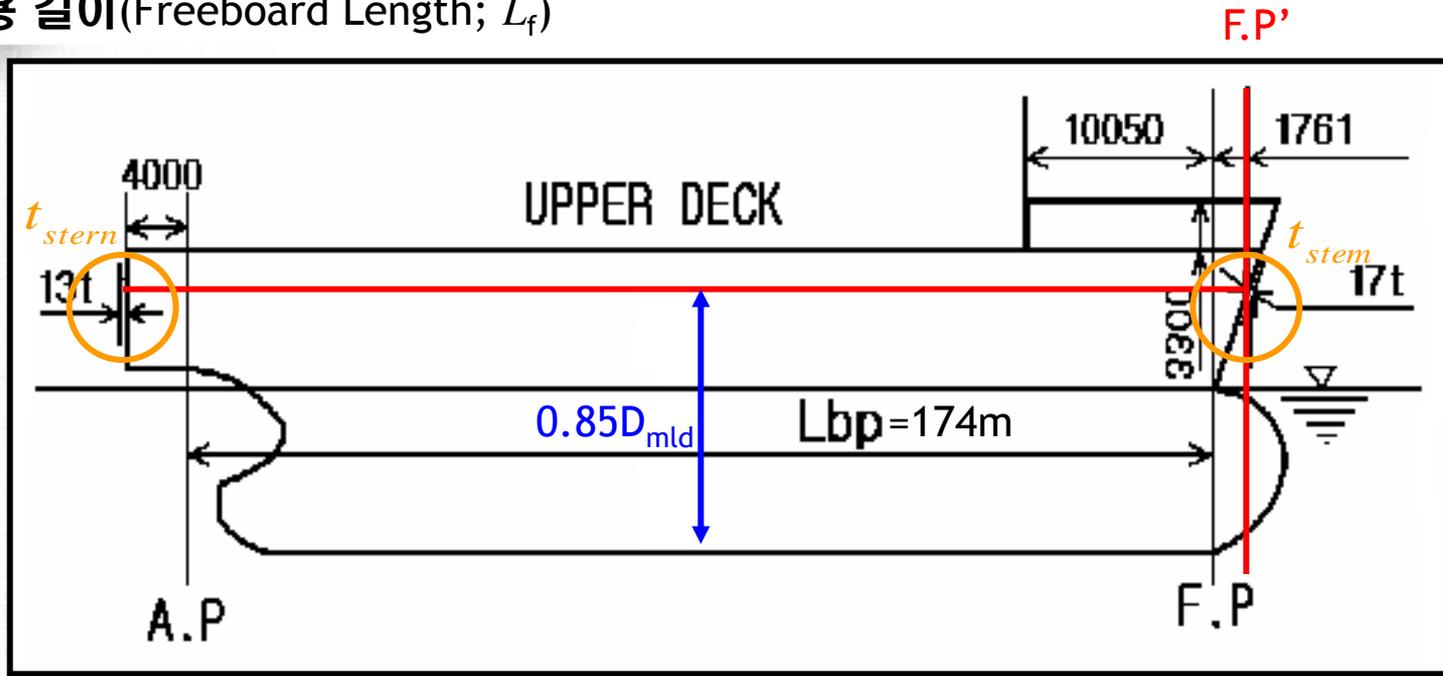
#### ■ 계산 시 참조도면

- Lines or Offset Table (Fared Lines)
- General Arrangement Plan (G/A)
- Hydrostatic Table
- Midship Section (M/S)
- Shell expansion
- Construction profile & Decks plan
- Forecastle deck construction

## 8. 건현 계산(3)

- 용어: 건현용 길이(Freeboard Length;  $L_f$ )

▪ 건현용 길이(Freeboard Length;  $L_f$ )



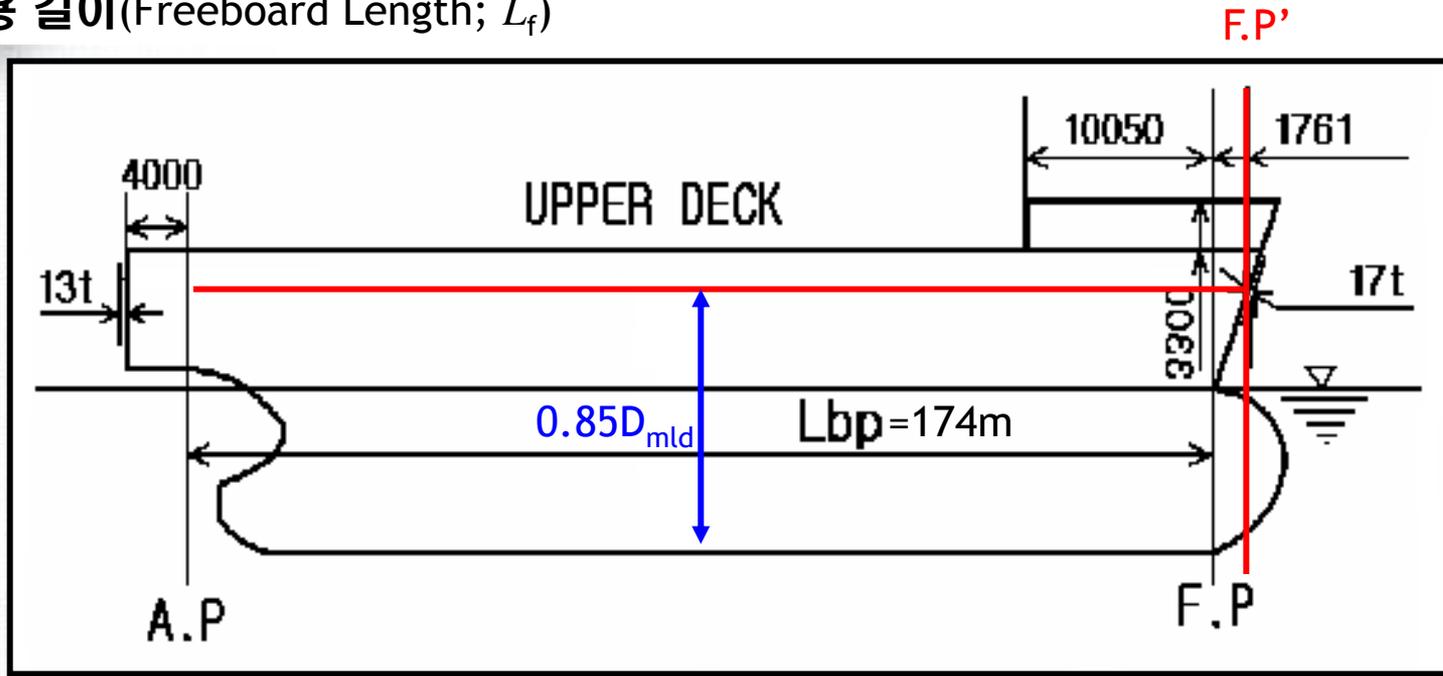
-  $L_1$  = 용골의 상면으로부터 형심의 85%( $0.85D_{mld}$ )가 되는 흘수선에서의 Total Length(Stem/Stern Thickness 포함)의 96%의 길이

$$\text{ex) } L_1 = (0.013 + 4.00 + 174.00 + 1.761 + 0.017) \times 0.96 = 179.791 \times 0.96 = 172.60 \text{ m}$$

## 8. 건현 계산(4)

- 용어: 건현용 길이(Freeboard Length;  $L_f$ )

▪ 건현용 길이(Freeboard Length;  $L_f$ )



-  $L_1$  = 최소 형심의 85%( $0.85D_{mld}$ )가 되는 흘수선에서 선수재의 전면으로부터 Rudder Stock Center까지의 길이

$$\text{ex) } L_1 = (174.00 + 1.761 + 0.017) = 175.78 \text{ m}$$

- 건현용 길이(Freeboard Length;  $L_f$ ) =  $L_1, L_2$  중 큰 값

$$\therefore L_f = \max(L_1, L_2) = 175.78 \text{ m}$$

# 8. 건현 계산(5)

## - 용어

- 선박의 중앙(Amidship)  
건현길이( $L_f$ )의 중앙을 의미하며, 건현 마크(Mark)는 이 중앙을 기준으로 표시된다.
- 선 폭(Breadth)  
선박의 중앙에 있어서 금속제 외판을 가진 배에서는 늑골의 외면에서 외면까지의 폭을 의미한다.
- 형 심(Moulded Depth ;  $D_{mld}$ )  
용골의 상면으로부터 선측에서의 건현갑판 보의 상면까지 수직거리
- 건현용 깊이(Depth;  $D_f$ )  
건현용 깊이는 선박의 중앙에서의 형 깊이에 갑판 스트링거 판의 두께를 더한 것을 말한다.

$$D_f = D_{mld} + t_{stringer}$$

- 방형계수

$$C_b = \frac{\nabla}{L_f \times B \times 0.85 D_{mld}} \quad (\nabla \text{는 } 0.85 D_{mld} \text{ (형 깊이의 85\%) 에서의 형배수 용적})$$

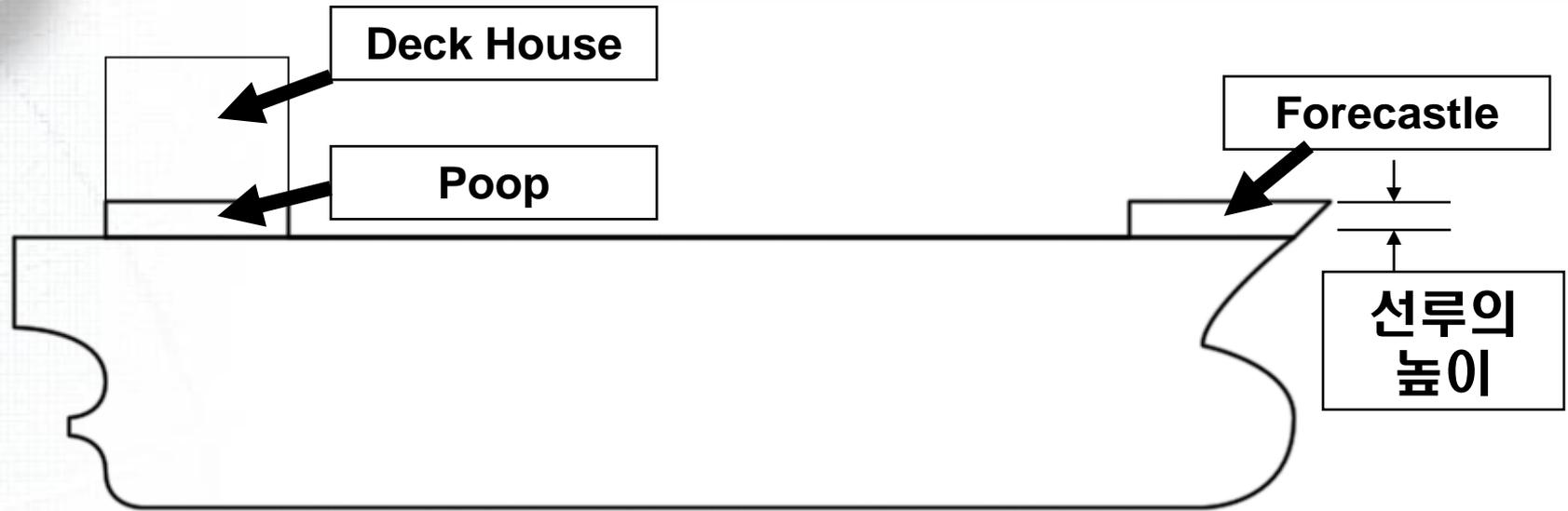
- 건현 갑판(Freeboard Deck)

통상 외기 및 해수에 폭로(Exposed) 또는 노출된 최상층의 갑판으로서 모든 Opening은 상설 폐쇄 장치를 가져야 한다.

폭로 갑판이 불연속인 경우 가장 낮은 선을 이은 선이 건현용 갑판이 된다. (건현 요구 조건을 만족해야 하는 갑판)

## 8. 건현 계산(6)

### - 용어: 선루 (Superstructure)



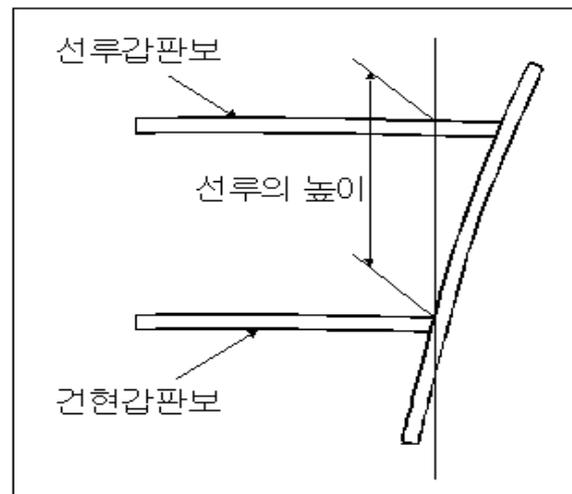
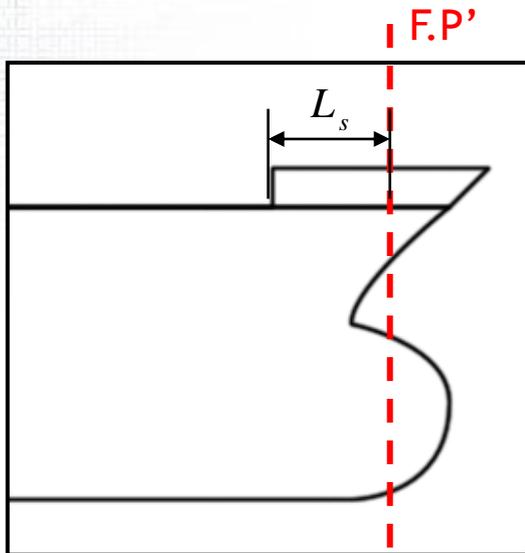
- 선루 (Superstructure)
  - 건현 갑판 상에 설치된 상부에 갑판을 가지고 있는 구조물
- 선루의 높이
  - 선루 갑판 보의 상면에서 건현 갑판 보의 상면까지의 최소 수직 높이
- 선루의 길이
  - 건현 길이 범위 내에 있는 선루 부분의 평균 길이

## 8. 건현 계산(7)

### - 용어: 선루(Superstructure)

#### ■ 선루(Superstructure)

- 건현 갑판 상에 설치된 상부에 갑판을 가지고 있는 구조물로서 한쪽 선측에서 다른 쪽 선측까지 설치되거나 또는 선측 외판에서 형폭( $B_{mld}$ )의 4%를 넘지 않는 위치에서 그 측판을 가지고 있는 것
- 선루의 높이 : 선측에 있어 선루 갑판 보의 상면에서 건현 갑판보의 상면까지 측정한 최소 수직 높이
- 선루의 길이( $L_s$ : 건현 길이 내부에 있는 선루의 부분의 평균 길이)



# 8. 건현 계산(8)

## - 선박의 형식

### ■ 'A' 형 선박

- 액체 화물만을 운송하는 선박(예, 유조선, LNG선 등)
- 폭로 갑판에는 화물 구획으로 들어가는 작은 개구(Opening)만을 가지고 있음
- 화물 구획에 대해 낮은 침수율을 가짐

### ■ 'B' 형 선박

- 'A' 형 선박 이외의 모든 선박(예, 살물선, 컨테이너선 등)

### ■ 'B' - Reduced Type 선박

- 길이 100m를 넘는 B형 선박이 Reg. 27을 만족하는 경우 건현을 감소할 수 있다.

#### 1) B-60 Type

Reg.27 항의 요건에 적합한 'B'형 선박의 경우, 그 선박의 길이에 해당되는 A형 표정건현과 B형 표정건현 차이의 60%까지 감소 시킬 수 있다.

#### 2) B-100 Type

허용되는 건현의 감소는 일정 요건(Reg.27(10))에 적합할 경우, A형 표정건현과 B형 표정건현 차이의 100%까지 감소 할 수 있다.

## 8. 건현 계산(9) - 계산 과정



# 8. 건현 계산(10)

## - 표정 건현

| 배의 길이<br>(m) | 건현<br>(mm) | 배의 길이<br>(m) | 건현<br>(mm) |
|--------------|------------|--------------|------------|
| 162          | 2155       | 231          | 2880       |
| 163          | 2169       | 232          | 2888       |
| 164          | 2184       | 233          | 2895       |
| 165          | 2198       | 234          | 2903       |
| 166          | 2212       | 235          | 2910       |
| 167          | 2226       | 236          | 2918       |
| 168          | 2240       | 237          | 2925       |
| 169          | 2254       | 238          | 2932       |
| 170          | 2268       | 239          | 2939       |
| 171          | 2281       | 240          | 2946       |
| 172          | 2294       | 241          | 2953       |
| 173          | 2307       | 242          | 2959       |
| 174          | 2320       | 243          | 2966       |
| 175          | 2332       | 244          | 2973       |
| 176          | 2345       | 245          | 2979       |
| 177          | 2357       | 246          | 2986       |

- 선박의 형(Type)에 따른 표정 건현에서 선박의 길이( $L_f$ )에 해당하는 표정 건현을 구함
- $L_f$ 가 정확히 일치하지 않을 경우 선형 보간법으로 구함

예시  $L_f = 240.2m$



$$F_t = \frac{0.2 \times 2953 + 0.8 \times 2946}{0.2 + 0.8}$$

A형 선박에 대한 표정 건현표

## 8. 건현 계산(11) -Cb에 대한 수정

- $C_b$ 에 대한 수정(Reg. 30)
  - $C_b$ 가 크면 요구 건현이 증가함

$$C_b \geq 0.68$$

$$C_b \text{에 대한 수정량} = F_t \times \frac{C_b + 0.68}{1.36}$$

$$C_b < 0.68$$

수정 없음

## 8. 건현 계산(12) - 깊이에 대한 수정

### ■ 깊이에 따른 수정

- 깊이가 큰 선박의 경우 일반적으로 중량이 무겁고 무거운 선박일 수록 파랑 중에서 운동이 느리므로 파도에 덮쳐질 가능성이 크기 때문에 높은 건현이 필요하다.

$$D_f \leq L_f / 15$$

수정 없음

$$D_f > L_f / 15$$

$$\text{깊이에 대한 수정량} = (D_f - L_f / 15) \times R$$

$$R = L_f / 0.48 \quad : L_f < 120 \text{ m}$$

$$R = 250 \quad : L_f \geq 120 \text{ m}$$

# 8.건현 계산(13)

## -선루 및 트렁크에 대한 수정(1)

### ■ 선루 및 트렁크가 있는 경우의 요구 건현 감소(Reg. 37)

- $L_S$  : 선루의 길이
  - $L_f$  의 범위 내에 있는 선루 부분의 평균길이를 말한다.
- $L_E$  : 유효길이
  - 둘러 막혀 있는 선루의 실제 높이( $H_a$ )가 표준 높이 ( $H_s$ ) 보다
    - ① 큰 경우는 유효길이( $L_E$ ) = 선루의 길이( $L_S$ )
    - ② 작은 경우는 유효길이( $L_E$ ) = 선루의 길이 ( $L_S$ ) x 실제높이( $H_a$ ) / 표준높이( $H_s$ ) 로 계산한다.

단, 선루의 폭(b)이 선박의 전 폭(B)에 걸쳐져 있지 않으나, 선루가 선박의 외판으로부터 0.04B 이내에 설치 되어 있는 경우,  $L_E = L_S \times b/B$  가 된다. (Reg.35(2))

- $H_a$  : 실제높이(측정)
- $H_s$  : 표준높이 (Reg.33)

$L_f$  가 아래 값의 중간에 있을 경우는 선형 보간법으로 구한다.

| $L_f$ (m) | 저선미루(m) | 그 밖의 선루(m) |
|-----------|---------|------------|
| 30 이하     | 0.90    | 1.80       |
| 75        | 1.20    | 1.80       |
| 125 이상    | 1.80    | 2.30       |

# 8.건현 계산(14)

## -선루 및 트렁크에 대한 수정(2)

- 선루 및 트렁크의 유효길이( $L_E$ ) 합계가  $1.0L_f$  인 경우

$$\text{건현 감소 길이} = \begin{cases} 350 \text{ mm} & : L_f = 24 \text{ m} \\ 860 \text{ mm} & : L_f = 85 \text{ m} \\ 1,070 \text{ mm} & : L_f \geq 122 \text{ m} \end{cases}$$

::  $L_f$  가 위의 값 중간에 있을 경우 선형 보간법으로 구한다.

- 선루 및 트렁크의 유효길이( $L_E$ ) 합계가  $1.0L_f$  보다 작을 경우

건현 감소 길이 = ( $L_E = L_f$ )일 때의 요구 건현 감소량 × 수정 계수

| 배의<br>형식 | 선루의<br>형식                  |    | 선루 및 트렁크의 유효길이의 합계 ( $L_E$ ) |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
|----------|----------------------------|----|------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|          |                            |    | 0                            | 0.1 $L_f$ | 0.2 $L_f$ | 0.3 $L_f$ | 0.4 $L_f$ | 0.5 $L_f$ | 0.6 $L_f$ | 0.7 $L_f$ | 0.8 $L_f$ | 0.9 $L_f$ | 1.0 $L_f$ |
| A        | 모든 형식                      |    | 0                            | 7         | 14        | 21        | 31        | 41        | 52        | 63        | 75.3      | 87.7      | 100       |
| B        | 선수루가 있고<br>분립선교루가<br>없는 경우 | I  | 0                            | 5         | 10        | 15        | 23.5      | 32        | 46        | 63        | 75.3      | 87.7      | 100       |
|          | 선수루 및<br>분립선교루가<br>있는 경우   | II | 0                            | 6.3       | 12.7      | 19        | 27.5      | 36        | 46        | 63        | 75.3      | 87.7      | 100       |



## 8.건현 계산(15)

### -선루 및 트렁크에 대한 수정(3)

#### B형 선박에 대한 추가 수정

- B형선박에 대해서는, 선루의 길이에 따라 다음과 같은 수정이 더 필요한 경우가 있다.

- ① 선수루(Forecastle)의 유효길이 ( $L_{f'cle}$ )가  $0.07L_f$  보다 작을 때에는 다음 식으로 구해지는 값을 수정계수로부터 감소한다.

$$5 \times \frac{0.07 L_f - L_{f'cle}}{0.07 L_f} (\%)$$

B형 선박으로서 선수루가 없는 평갑판선의 경우,  $L_{f'cle}$  가 0 이므로, 감소되는 수정계수는 -5 %가 되는데, 이와 같이 수정계수가 음의 값이 될 때에는 수정 계수를 0 으로 한다.

## 8.건현 계산(16)

### -선루 및 트렁크에 대한 수정(4)

- ② 선수루의 유효길이가  $0.4L_f$  보다 클 때에는 선교루가 없더라도 표의 II 란의 값을 사용한다.
- ③ 선교루(Bridge)의 유효길이( $L_{bridge}$ )가  $0.2 L_f$ 보다 작을 때는, 표의 II 란의 값을 다음과 같이 수정한다.

$$I \times \frac{(\text{II} - \text{I}) \times L_{bridge}}{0.2 L_f}$$

Bridge 는 일반적으로 갑판상의 중앙부에 있는 선루를 말한다.

- ④ 선수루의 유효길이가  $0.07L_f$  보다 작고, 선교루의 유효길이가  $0.2L_f$ 보다 작을 때는, 수정을 동시에 한다. 즉,

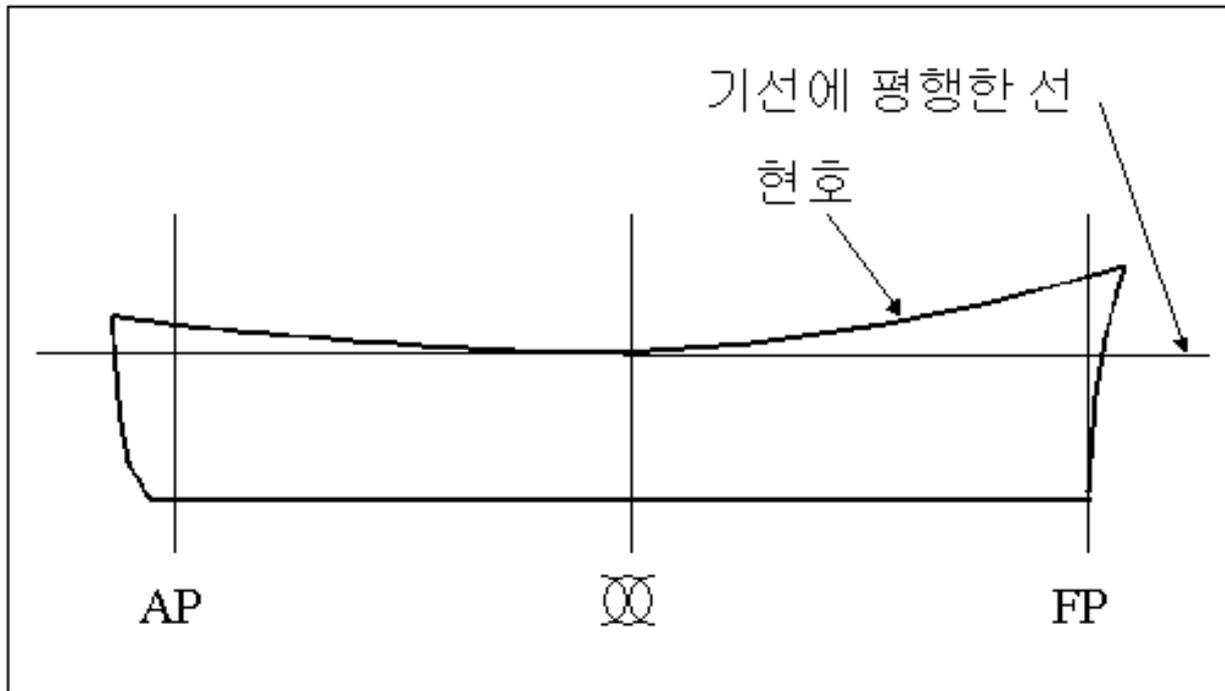
$$I \times \frac{(\text{II} - \text{I}) \times L_{bridge}}{0.2 L_f} - 5 \times \frac{0.07 L_f - L_{f'cle}}{0.07 L_f} (\%)$$

# 8.건현 계산(17)

## -현호에 대한 수정(1)

### ■ 현호에 대한 수정

- 현호
- 선수루 및 선미루 높이가 표준높이보다 큰 경우
- Camber 에 의한 수정



# 8.건현 계산(18)

## -현호에 대한 수정(2)

$$\text{현호에 따른 수정량} = (S_0 - S) \times (0.75 - 0.5r_1), (\text{mm})$$

- $S_0$  : 현호의 표준 높이 (mm)
- $S$  : 실제 현호의 평균 높이 (mm)
- $r_1$  : 둘러 막힌 선루의 합계 길이( $L_E$ )를  $L_f$  로 나눈 값

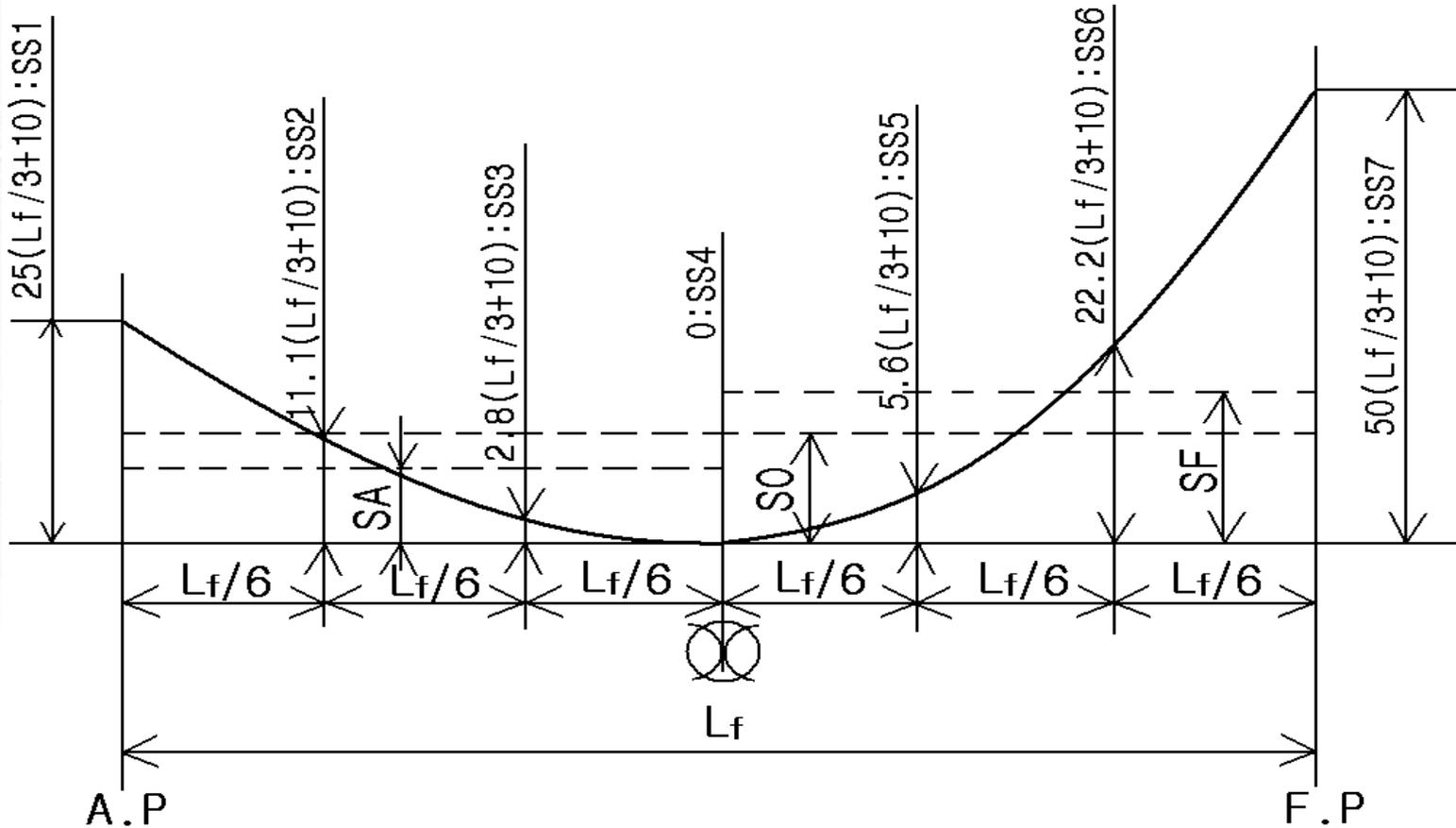
$$r_1 = L_E / L_f$$

- $S_0 > S$  인 경우 : 수정량을 표정 건현에 더한다.
- $S_0 < S$  인 경우 : 수정량을 표정 건현에서 뺀다.

# 8.건현 계산(19)

## -현호에 대한 수정(3)

현호의 표준높이 계산



# 8. 건현 계산(20)

## - 현호에 대한 수정(4)

### 현호의 표준높이 계산

| 위치          |                    | 표준현호                    |    | 실제현호    |    |
|-------------|--------------------|-------------------------|----|---------|----|
|             |                    | 높이(mm)                  | 계수 | 높이(mm)  | 계수 |
| 후<br>반<br>부 | A.P                | $25.0(L_f/3+10)$        | 1  | S1      | 1  |
|             | $L_f/6$ (from A.P) | $11.1(L_f/3+10)$        | 3  | S2      | 3  |
|             | $L_f/3$ (from A.P) | $2.8(L_f/3+10)$         | 3  | S3      | 3  |
|             | 선체중앙점              | 0                       | 1  | S4      | 1  |
|             | 평균높이               | $S_A = 8.34(L_f/3+10)$  |    | $S_a =$ |    |
| 전<br>반<br>부 | 선체중앙점              | 0                       | 1  | S4      | 1  |
|             | $L_f/3$ (from F.P) | $5.6(L_f/3+10)$         | 3  | S5      | 3  |
|             | $L_f/6$ (from F.P) | $22.2(L_f/3+10)$        | 3  | S6      | 3  |
|             | F.P                | $50.0(L_f/3+10)$        | 1  | S7      | 1  |
|             | 평균높이               | $S_F = 16.68(L_f/3+10)$ |    | $S_f =$ |    |

현호의 형상을 포물선으로 가정하고, Simpson 제 2법칙에 따라 계산

# 8.건현 계산(21)

## -현호에 대한 수정(5)

### ▪ 현호의 표준 높이 계산

$$S_0 = \frac{S_A + S_F}{2} = \frac{8.34 + 16.68}{2} \left( \frac{L_f}{3} + 10 \right) = 12.51 \left( \frac{L_f}{3} + 10 \right) [mm]$$

### ▪ $S_F, S_A, S_f, S_a$ 의 비교에 의한 실제 현호의 평균높이(S) 선정

•실제의 현호의 평균높이(S) 선정은 실제의 현호의 전반부와 후반부의 평균높이( $S_f, S_a$ )를 표준 현호의 전반부와 후반부의 평균높이( $S_F, S_A$ )와 비교하여 다음과 같이 구한다.

①  $S_F > S_f, S_A \geq S_a$  일 때,  $S = (S_f + S_a) / 2$

②  $S_F > S_f, S_A < S_a$  일 때,  $S = (S_f + S_A) / 2$

③  $S_F \leq S_f, 0.75 S_A \leq S_a$  일 때,  $S = (S_f + S_a) / 2$

④  $S_F \leq S_f, 0.75 S_A > S_a \geq S_A$  일 때,  $S = (S_f' + S_a) / 2$

$$S_f' = S_{oi} + (S_i - S_{oi}) \left( 4 \frac{S_a}{S_A} - 2 \right)$$

$S_{oi}$  : 각 위치에서의 표준 높이  
 $S_i$  : 각 위치에서의 실제 높이

⑤  $S_F \leq S_f, 0.5 S_A > S_a$  일 때,  $S = (S_F + S_a) / 2$

## 8. 건현 계산(22)

### - 현호에 대한 수정(6)

#### ▪ 선루의 높이에 따른 현호의 수정

• 선미루 또는 선수루의 실제 높이가 표준높이보다 클 때, 그 초과분에 대하여 다음 식으로 구한 값을 실제 현호의 전반부 또는 후반부의 평균높이에 더한다.

$$s = \frac{Y}{3} \cdot \frac{L'}{L_f / 2}$$

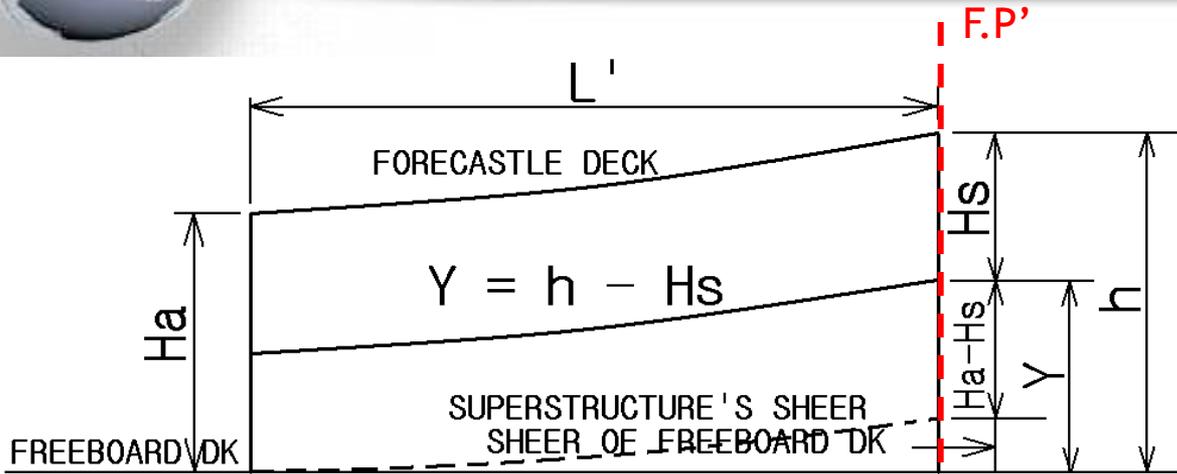
여기서,  $s$  : 현호의 평균높이의 증가분

$Y$  : FP 또는 AP 에서 선루의 실제 높이(h) 와 표준높이(Hs)의 차

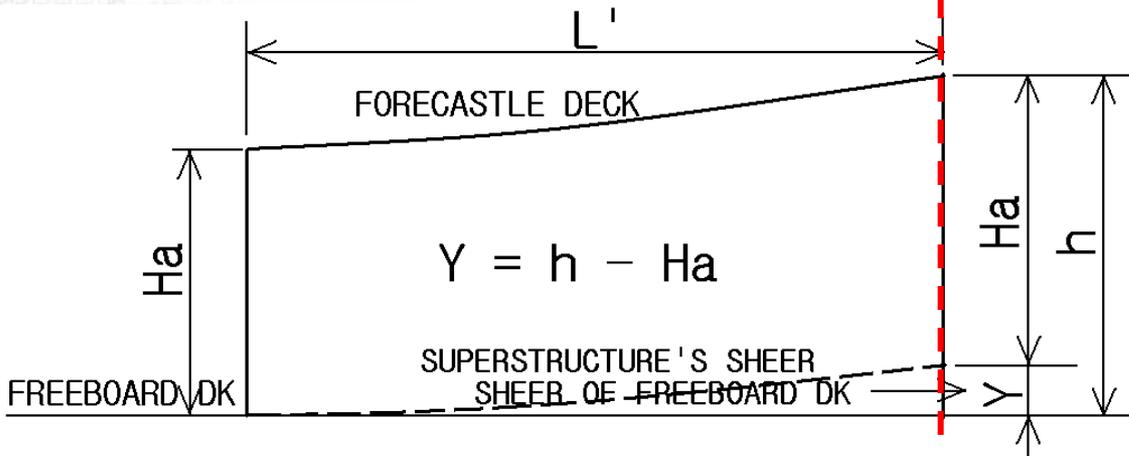
$L'$  : 둘러막힌 선미루 또는 선수루의 평균길이

# 8. 건현 계산(23)

## - 현호에 대한 수정(7)



① 실제높이( $h$ )가 표준 높이( $H_s$ )보다 크거나 같은 경우의  $Y$



② 실제높이( $h$ )가 표준 높이( $H_s$ )보다 작지만, 선루의 현호가 건현감판의 현호보다 큰 경우의  $Y$

$h$  : FP' 또는 AP에서의 SUPERSTRUCTURE의 높이

# 8.건현 계산(24)

## - 최소 선수 높이

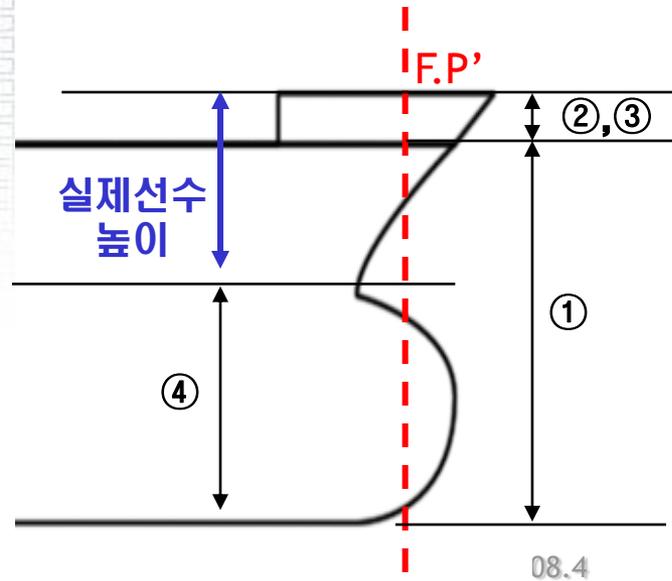
①  $L_f < 250 m$  일 때

$$\text{최소 선수 높이} = 56 L_f \times (1 - L_f / 500) \times 1.36 / (C_b + 0.68) \text{ (mm)}$$

②  $L_f \geq 250 m$  일 때

$$\text{최소 선수 높이} = 7000 \times 1.36 / (C_b + 0.68) \text{ (mm)}$$

여기서  $C_b$ 는  $0.85D_{mld}$ 에서의 값이며 0.68을 최소한으로 한다.



$$\begin{aligned} \text{실제 선수 높이} &= D_{mld} \text{ (①)} + \text{FP에서의 선수루 높이 (②)} \\ &+ \text{FP에서의 현호 높이 (③)} - \text{계획 하기 만재 흘수 (④)} \end{aligned}$$

“실제 선수 높이 > 최소 선수 높이” 를 반드시 만족해야 한다.

# 8. 건현 계산(25)

## - 하기 만재 흘수

- 허용 하기 만재 흘수 [  $d_s$  ]

$$d_s = \text{건현용 깊이}(D_f) - \text{요구건현}$$

:: 요구 건현 = 표정 건현  $\pm$  깊이에 따른 수정

- 선루에 따른 수정  $\pm$  현호에 따른 수정

+ 최소 선수 높이에 의한 수정(해당시에만)

- 열대 흘수 [  $d_T$  ]

$$d_T = d_s + d_s / 48$$

- 동기 흘수 [  $d_w$  ]

$$d_w = d_s - d_s / 48$$

## 8. 건현 계산(26)

### -재화중량 7,400 ton 다목적 화물선의 건현 계산 예(1)

1) 주어진 주요 치수 :

$$L_{BP} = 111.7 \text{ m}, \quad B_{mld} = 19.2 \text{ m}, \quad D_{ml} d = 8.6 \text{ m},$$

$$T_{mld} = 6.45 \text{ m}, \quad C_b = 0.734 \quad (T = 6.45 \text{ m에서})$$

F.P ~ 선수재까지의 길이 = 0.275,

A.P ~ 선미재까지의 길이 = 3.875,

선수재 두께 = 0.025,

선미재 두께 = 0.025

다목적 화물선 : B 형

## 8. 건현 계산(27)

### -재화중량 7,400 ton 다목적 화물선의 건현 계산 예(2)

#### 2) 표정건현 :

①  $L_f$

$$0.85 D_{mld} = 0.85 \times 8.6 = 7.31 \text{ m}$$

$$L_f = \max( L_1, L_2 )$$

✓  $L_1$  = 용골의 상면으로부터 형심의 85%(0.85Dmld)가 되는 흘수선에서의 Total Length (Stem/Stern Thickness 포함)의 96%의 길이

$$(111.7 + 0.275 + 0.025 + 3.875 + 0.025) \times 0.96 = 111.264 \text{ m}$$

✓  $L_2$  = 최소 형심의 85%(0.85Dmld)가 되는 흘수선에서 선수재의 전면으로부터 Rudder Stock Center까지의 길이

$$(111.7 + 0.275 + 0.025) = 112.00 \text{ m}$$

$$L_f = \max( L_1, L_2 ) = \max( 111.264, 112.00 ) = 112.00 \text{ m}$$

## 8. 건현 계산(28)

### -재화중량 7,400 ton 다목적 화물선의 건현 계산 예(3)

#### 2) 표정건현 :

#### ② 표정건현 (B 형 선박)

| 배의 길이<br>(m) | 건현<br>(mm) | 배의 길이<br>(m) | 건현<br>(mm) |
|--------------|------------|--------------|------------|
| 24           | 200        | 93           | 1135       |
| 25           | 208        | 94           | 1154       |
| 26           | 217        | 95           | 1172       |
| 27           | 225        | 96           | 1190       |
| 28           | 233        | 97           | 1209       |
| 29           | 242        | 98           | 1229       |
| 30           | 250        | 99           | 1250       |
| 31           | 258        | 100          | 1271       |
| 32           | 267        | 101          | 1293       |
| 33           | 275        | 102          | 1315       |
| 34           | 283        | 103          | 1337       |
| 35           | 292        | 104          | 1359       |
| 36           | 300        | 105          | 1380       |
| 37           | 308        | 106          | 1401       |
| 38           | 316        | 107          | 1421       |
| 39           | 325        | 108          | 1440       |
| 40           | 334        | 109          | 1459       |
| 41           | 344        | 110          | 1479       |
| 42           | 354        | 111          | 1500       |
| 43           | 364        | 112          | 1521       |
| 44           | 374        | 113          | 1543       |
| 45           | 385        | 114          | 1565       |
| 46           | 396        | 115          | 1587       |

$L_f = 112.00$  m 에서의

B 형 선박의 표정건현 = 1521 mm

## 8. 건현 계산(29)

### -재화중량 7,400 ton 다목적 화물선의 건현 계산 예(4)

#### 3) 표정건현의 $C_b$ 에 따른 수정 [ $C_b \geq 0.68$ 인 경우 ]

$$\begin{aligned} C_b \text{에 대한 수정량} &= F_t \times \frac{C_b^{1)} + 0.68}{1.36} \\ &= 1521 \times \frac{0.7452 + 0.68}{1.36} \\ &= 1594 \text{ mm} \end{aligned}$$

#### 1) $0.85 D_{\text{mld}}$ 에서의 $C_b$ 추정식

$C_b$ 는  $0.85 D_{\text{mld}}$  에서의 값인데, 초기 단계에서는 다음과 같은 Kanda 의 식에 따라 추정할 수 있다. 추후 설계가 진행되어 선형이 확정되면 정확한 값으로 다시 건현계산을 하여야 한다.

$$C_b = C_{bo} \cdot (0.85 D / T)^{(C_{wo} / C_{bo} - 1)} = 0.734 \cdot (0.85 \cdot 8.6 \cdot 6.45)^{(0.823 / 0.734 - 1)} = 0.7452$$

$C_{bo}$  : 계획 만재 흘수에서의  $C_b = 0.734$

$C_{wo}$  : 계획 만재 흘수에서의  $C_w$

$C_{wo} : (1 + 2 \cdot C_{bo}) / 3 = (1 + 2 \cdot 0.734) / 3 = 0.823$  으로 추정

## 8. 건현 계산(30)

### -재화중량 7,400 ton 다목적 화물선의 건현 계산 예(5)

#### 4) 깊이에 따른 수정량

$$\textcircled{1} \quad D_f = D_{mld} + t_{stringer} = 8.6 + 0.025 = 8.625 \text{ m}$$

여기서, 건현갑판 스트링거의 두께를 25mm로 가정하였다.

$$D_f = 8.625 \text{ m}$$

$$L_f / 15 = 112 / 15 = 7.467 \text{ m}$$

$$\therefore D_f = 8.625 \text{ m} > L_f / 15 = 7.467 \text{ m}$$

#### ② 수정( $D_f > L_f / 15$ 일 경우의 표정건현 수정량)

$$(D_f - L_f / 15) \times R \quad \text{단, } R = L_f / 0.48 \quad ; \quad L_f < 120 \text{ m}$$

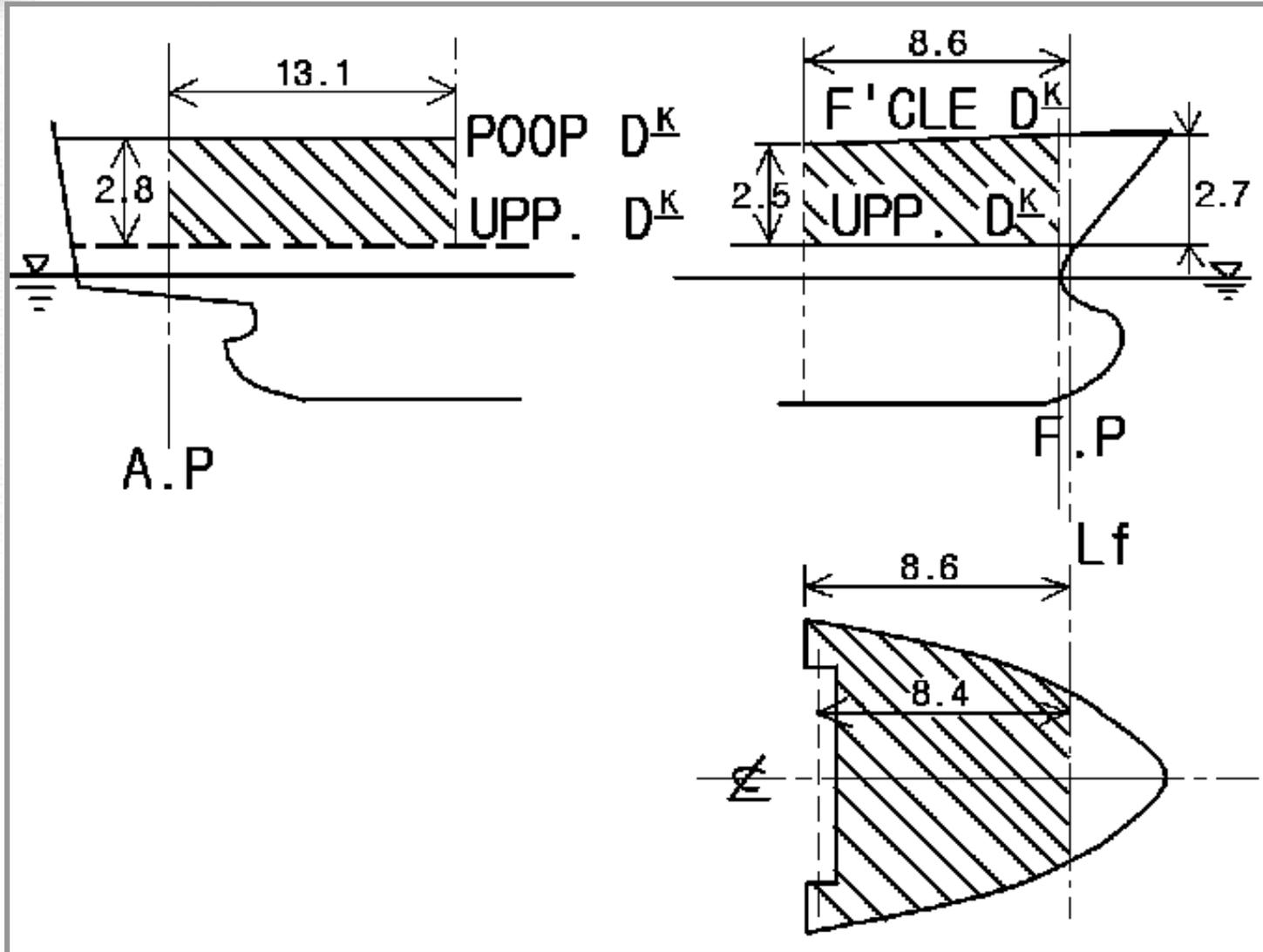
$$= (8.625 - 112 / 15) \times 112 / 0.48$$

$$= 270 \text{ mm}$$

## 8. 건현 계산(31)

-재화중량 7,400 ton 다목적 화물선의 건현 계산 예(6)

### 5) 선루에 따른 수정



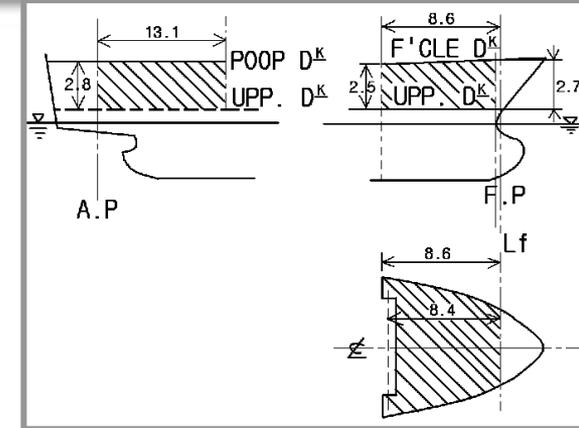
# 8. 건현 계산(32)

## -재화중량 7,400 ton 다목적 화물선의 건현 계산 예(7)

### 5) 선루에 따른 수정

선루의 유효길이 :  $L_E$  (단,  $L_f$  이내)

$$L_E = \text{선루의 평균길이} \times [\min(\text{표준높이}, \text{실제높이})] / \text{선루의 표준높이}$$



① 선루의 유효길이 = 선수루의 유효길이 + 선미루의 유효길이  
 = 8.4 m (7.5%  $L_f$ ) + 13.1 m (11.7%  $L_f$ ) = 21.5 m (19.2%  $L_f$ )

여기서, 선수루의 유효길이는 8.4 m 로 가정하였다. (그림 참조)

② 아래 표를 참조하여 0.1  $L_f$  와 0.2  $L_f$  사이를 선형보간한다.  
 = 5 + (0.192 - 0.1) / 0.1 × 5 = 9.6 %

| 배의<br>형식 | 선루의<br>형식                  |    | 선루 및 트렁크의 유효길이의 합계 ( $L_E$ ) |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
|----------|----------------------------|----|------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|          |                            |    | 0                            | 0.1 $L_f$ | 0.2 $L_f$ | 0.3 $L_f$ | 0.4 $L_f$ | 0.5 $L_f$ | 0.6 $L_f$ | 0.7 $L_f$ | 0.8 $L_f$ | 0.9 $L_f$ | 1.0 $L_f$ |
| A        | 모든 형식                      | 0  | 7                            | 14        | 21        | 31        | 41        | 52        | 63        | 75.3      | 87.7      | 100       |           |
| B        | 선수루가 있고<br>분립선교루가<br>없는 경우 | I  | 0                            | 5         | 10        | 15        | 23.5      | 32        | 46        | 63        | 75.3      | 87.7      | 100       |
|          | 선수루 및<br>분립선교루가<br>있는 경우   | II | 0                            | 6.3       | 12.7      | 19        | 27.5      | 36        | 46        | 63        | 75.3      | 87.7      | 100       |

## 8. 건현 계산(33)

### -재화중량 7,400 ton 다목적 화물선의 건현 계산 예(8)

#### 5) 선루에 따른 수정

##### ③ 수정량

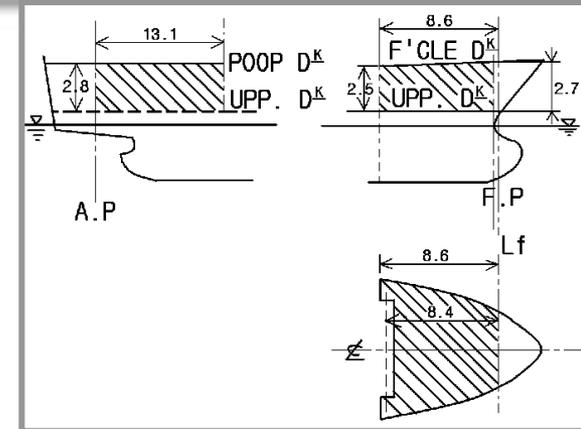
i) 아래 건현 감소길이에서 선형보간법을 사용하여  $L_f = 112$  m 일때의 건현 감소길이를 구한다.

$$\text{건현 감소 길이} = \begin{cases} 350 \text{ mm} & : L_f = 24 \text{ m} \\ 860 \text{ mm} & : L_f = 85 \text{ m} \\ 1,070 \text{ mm} & : L_f \geq 122 \text{ m} \end{cases}$$

$$\rightarrow \{860 + (1070 - 860) \times (112 - 85) / (122 - 85)\} = 1,013 \text{ mm}$$

-> 건현 감소길이에 ②에서 구한 수정 계수를 곱한다.

$$1013 \times 0.096 = 97 \text{ mm}$$



## 8. 건현 계산(34)

### -재화중량 7,400 ton 다목적 화물선의 건현 계산 예(9)

#### 6) 현호에 따른 수정

##### ① 현호의 표준높이

$$S_F = 16.68 \times (L_f / 3 + 10) = 789.52 \text{ mm}$$

$$S_A = 8.34 \times (L_f / 3 + 10) = 394.76 \text{ mm}$$

$$S_o = (S_F + S_A) / 2 = 592 \text{ mm}$$

##### ② 현호의 실제 높이 : S

- 평갑판선이므로 현호 없음.

- 선수루 및 선미루 높이가 표준높이보다 큰 경우 :

i) 현호의 전반부의 평균높이 증가분 :

$$S = \frac{Y}{3} \cdot \frac{L'}{L_f / 2} = \frac{(2.7 - 2.17)}{3} \cdot \frac{8.4}{112 / 2} = 0.0265 \text{ m}$$

여기서, 아래 표를 참조하여 75 와 125 사이의 표준높이를 선형보간한다.

선루의 표준높이 :  $1.80 + (2.30 - 1.80) \times (112 - 75) / (125 - 75) = 2.17 \text{ m}$

| $L_f$ (m) | 저선미루(m) | 그 밖의 선루(m) |
|-----------|---------|------------|
| 30 이하     | 0.90    | 1.80       |
| 75        | 1.20    | 1.80       |
| 125 이상    | 1.80    | 2.30       |

## 8. 견현 계산(35)

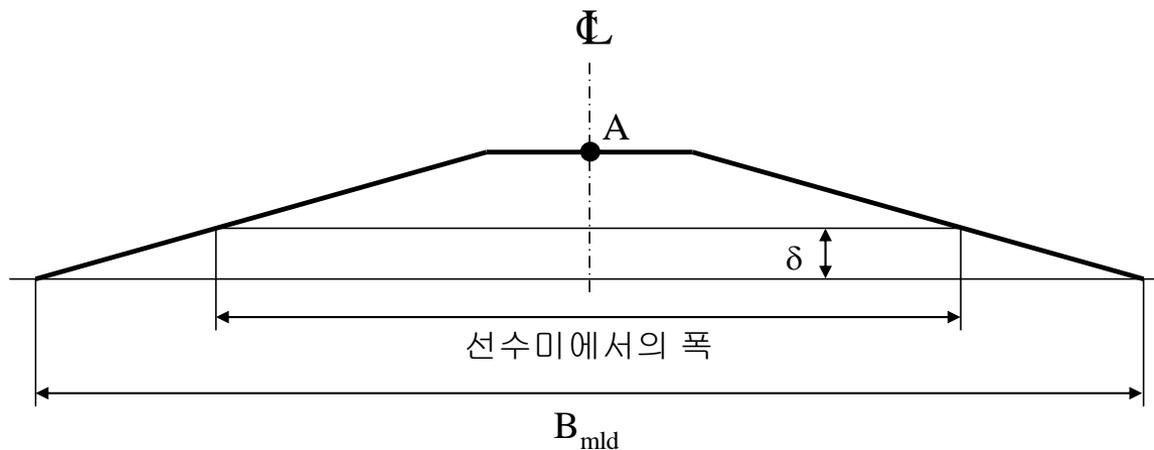
### -재화중량 7,400 ton 다목적 화물선의 견현 계산 예(10)

#### 6) 현호에 따른 수정

ii) 현호의 후반부의 평균높이 증가분 :

$$S = \frac{Y}{3} \cdot \frac{L'}{L_f / 2} = \frac{(2.7 - 2.17)}{3} \cdot \frac{13.1}{112 / 2} = 0.0491 \text{ m}$$

iii) Camber 에 의하여 생기는 평균 높이 = 17.5 mm (추정)



$$S_a = 49.1 + 17.5 = 66.6 \text{ mm}$$

$$S_f = 26.5 + 17.5 = 44 \text{ mm}$$

A : 선박 전체 길이에 대해 같은 높이에 있는 점

$\delta$  : 중앙부에 비해 선수미 부분에서 높아진 양

## 8. 건현 계산(36)

### -재화중량 7,400 ton 다목적 화물선의 건현 계산 예(11)

#### 6) 현호에 따른 수정

③ SF, SA, Sf, Sa 의 비교에 의한 실제 현호의 평균높이(S) 선정

$$S_F > S_f, S_A \geq S_a \text{ 일 때, } S = (S_f + S_a) / 2 = (66.6 + 44) / 2 = 55.3 \text{ mm}$$

④ 수정량

$$\begin{aligned} (S_0 - S) \times (0.75 - 0.5r_1) &= (592 - 55.3) \times (0.75 - 0.5 \cdot (8.4 + 13.1) / 112) \\ &= 351 \text{ mm} \end{aligned}$$

## 8. 건현 계산(37)

### -재화중량 7,400 ton 다목적 화물선의 건현 계산 예(12)

#### 가) 하기 만재 흘수

|                |          |
|----------------|----------|
| Cb 수정에 따른 표정건현 | 1,594 mm |
| 깊이에 따른 수정      | +270 mm  |
| 선루에 따른 수정      | -97 mm   |
| 현호에 따른 수정      | +351 mm  |
| <hr/>          |          |
| 형상 건현          | 2,118 mm |
| <hr/>          |          |
| 건현용 깊이         | 8.625 m  |
| 허용 하기 만재 흘수    | 6.507 m  |
| <hr/>          |          |
| 계획 하기 만재 흘수    | 6.45 m   |
| 여유             | 57 mm    |

## 8. 건현 계산(38)

### -재화중량 7,400 ton 다목적 화물선의 건현 계산 예(13)

#### 8) 최소 선수 높이

FP 에서 만재 흘수선으로부터 노출갑판의 선측 상면까지의 연직거리

$L_f < 250$  이므로,

$$\begin{aligned} & 56 \times L_f \times \left(1 - L_f / 500\right) \times \left(1.36 / (C_b + 0.68)\right) \\ &= 56 \cdot 112 \cdot \left(1 - 112 / 500\right) \cdot \left(1.36 / (0.7452 + 0.68)\right) \\ &= 4644 \text{ mm} \end{aligned}$$

**실제의 선수 높이 :**

$$\begin{aligned} & D_{mld} + \text{FP에서의 선수루 높이} + \text{FP에서의 현호 높이} - \text{계획하기만재흘수} \\ &= 8.6 + 2.7 + 0.16 - 6.45 = 5.01 \text{ m} > 4.644 \text{ m} \end{aligned}$$

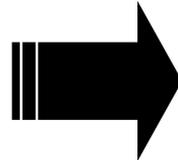
**그러므로 만족한다.**

# 건현 계산 프로그램

## - 입력과 출력

### 입력 값

- Lbp = 111.7 m
- Bmld = 19.2 m
- Dmld = 8.6 m
- Tmld = 6.45 m
- Cb = 0.734 (at T = 6.45 m)
- F.P.~선수재까지의 길이 = 0.275 m
- A.P.~선미재까지의 길이 = 3.875 m
- 선수재의 두께 = 25 mm
- 선미재의 두께 = 25 mm
- 건현 갑판 스트링거판의 두께 = 25 mm
- 선수루 유효 길이 = 8.4 m
- 
- 
- 



### 출력 값

- 표정 건현
- Cb에 대한 수정량
- 깊이에 대한 수정량
- 선루에 대한 수정량
- 현호에 대한 수정량
- 형상 건현
- 건현용 깊이
- 허용 하기 만재 흘수
- 계획 하기 만재 흘수
- 흘수 여유분
- 최소 선수 높이
- 
- 
-

# 건현 계산 프로그램

## - 건현 계산을 위한 Ship Class의 생성 및 구현(1)

### ■ 클래스의 생성

#### Ship.h

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

#### Ship.cpp

```
#include "Ship.h"

// 생성자 정의 부분
Ship::Ship()
{
}

// 소멸자 정의 부분
Ship::~~Ship()
{
}
```

# 건현 계산 프로그램

## - 건현 계산을 위한 Ship Class의 생성 및 구현(2)

### ■ 멤버 변수의 선언

#### Ship.h

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

    // 멤버 변수 선언
    double Lbp, Bmld, Dmld, Tmld;
    double Cb; // Block Coefficient
    double L_FP; // FP~선수재까지 길이
    double L_AP; // AP~선미재까지 길이
    double t_AP, t_FP, t_stringer; // 두께들
    // 이하 생략
};
```



- 입력과 출력에 필요한 각종 변수들을 Class의 헤더 파일에 선언한다.

# 건현 계산 프로그램

## - 건현 계산을 위한 Ship Class의 생성 및 구현(3)

### ■ 계산 과정의 모듈화

건현 계산을 위해 필요한  
항목

함수의 선언



⋮

⋮

# 건현 계산 프로그램

## - 건현 계산을 위한 Ship Class의 생성 및 구현(4)

### 함수의 선언

#### Ship.h

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

    // 멤버 변수 선언
    double Lbp, Bmld, Dmld, Tmld;
    double Cb; // Block Coefficient
    double L_FP; // FP~선수재까지 길이
    double L_AP; // AP~선미재까지 길이
    double t_AP, t_FP, t_stringer; // 두께들
    // 이하 생략

    // 멤버 함수의 선언
    void Calculate_Freeboard(); // 표정 건현 계산
    void Correction_Cb(); // Cb에 대한 수정량 계산
    void Correction_Depth(); // 깊이에 대한 수정량 계산
    void Correction_Superstructure(); // 선루 및 트렁크에 의한
    void Correction_Sheer(); // 현호에 대한 수정량 계산
    void Calculate_MinBowHeight(); // 최소 선수 높이 계산
    // 이하 생략
};
```

#### Ship.cpp

```
#include "Ship.h"

// 생성자 정의 부분
Ship::Ship() {}

// 소멸자 정의 부분
Ship::~Ship() {}

void Ship::Calculate_Freeboard()
{}

void Ship::Correction_Cb()
{}

void Ship::Correction_Depth()
{}

void Ship::Correction_Superstructure()
{}

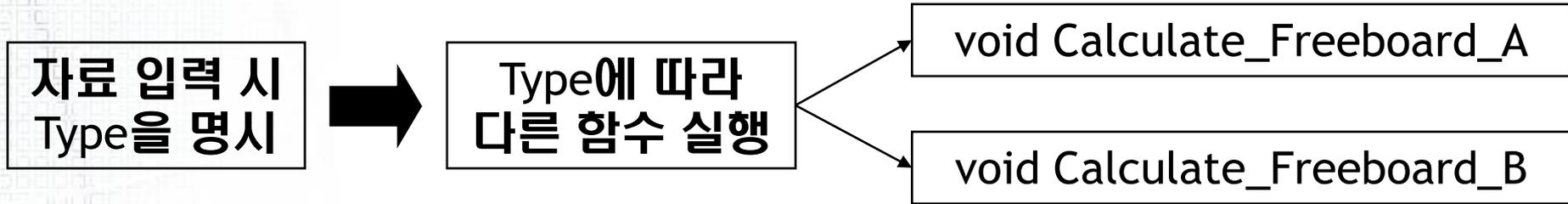
void Ship::Correction_Sheer()
{}

void Ship::Calculate_MinBowHeight()
{};
```

# 건현 계산 프로그램

## - 표정 건현 계산(1)

- 'A' Type과 'B' Type의 분기
  - 'A' Type : 액체 화물 전용
  - 'B' Type : 'A' Type 이외의 모든 선박



Ship.h

```
// 멤버 함수의 선언  
void Calculate_Freeboard(); // 표정 건현 계산  
void Calculate_Freeboard_A(); // A Type 표정 건현 계산  
void Calculate_Freeboard_B(); // B Type 표정 건현 계산
```

Ship.cpp

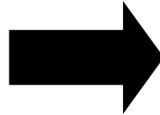
```
void Ship::Calculate_Freeboard()  
{  
    if (Type == 'A') { Calculate_Freeboard_A(); }  
    else if (Type == 'B') { Calculate_Freeboard_B(); }  
    else { printf("선택된 선박의 Type이 없습니다.\n"); }  
}
```

# 건현 계산 프로그램

## - 표정 건현 계산(2)

### ■ 표정 건현 표의 입력

| 배의 길이<br>(m) | 건현<br>(mm) | 배의 길이<br>(m) | 건현<br>(mm) |
|--------------|------------|--------------|------------|
| 24           | 200        | 93           | 1029       |
| 25           | 208        | 94           | 1044       |
| 26           | 217        | 95           | 1059       |
| 27           | 225        | 96           | 1074       |
| 28           | 233        | 97           | 1089       |
| 29           | 242        | 98           | 1105       |
| 30           | 250        | 99           | 1120       |
| 31           | 258        | 100          | 1135       |
| 32           | 267        | 101          | 1151       |
| 33           | 275        | 102          | 1166       |
| 34           | 283        | 103          | 1181       |
| 35           | 292        | 104          | 1196       |
| 36           | 300        | 105          | 1212       |
| 37           | 308        | 106          | 1228       |
| 38           | 316        | 107          | 1244       |
| 39           | 325        | 108          | 1260       |
| 40           | 334        | 109          | 1276       |
| 41           | 344        | 110          | 1293       |
| 42           | 354        | 111          | 1309       |
| 43           | 364        | 112          | 1326       |
| 44           | 374        | 113          | 1342       |
| 45           | 385        | 114          | 1359       |



- 2차원 배열로 선언
- “int Freeboard\_A[342][2];” 의 형식으로 선언

```
void Ship::Calculate_Freeboard_A()
{
    // 표정 건현 표를 2차원 배열로 입력
    int Freeboard_A[342][2] = { {24, 200}, {25, 208},
    {26, 217}, {27, 225}, {28, 233}, {29, 242}, {30, 250},
    {31, 258}, {32, 267}, {33, 275}, {34, 283}, {35, 292},
    {36, 300}, {37, 308}, {38, 316}, {39, 325}, {40, 334},
    // 종락
    {361, 3427}, {362, 3428}, {363, 3430}, {364, 3432}, {365, 3433} };
}
```

# 건현 계산 프로그램

## - 표정 건현 계산(3)

- 표정 건현 표에서  $L_f$ 가 속한 구간 검색 예시

$L_f = 320.6m$  로 주어짐

‘버림’ 을 수행한 후 표정  
건현 표에서  $L_f = 320$  의 값을

검색

선형 보간 수행

|     |      |     |      |
|-----|------|-----|------|
| 248 | 3000 | 317 | 3322 |
| 249 | 3006 | 318 | 3325 |
| 250 | 3012 | 319 | 3328 |
| 251 | 3018 | 320 | 3331 |
| 252 | 3024 | 321 | 3334 |
| 253 | 3030 | 322 | 3337 |
| 254 | 3036 | 323 | 3339 |
| 255 | 3042 | 324 | 3342 |

$$F_t = 3334 \times (320.6 - 320) + 3331 \times (321 - 320.6)$$

# 건현 계산 프로그램

## - 표정 건현 계산(4)

### ■ 표정 건현 표에서 $L_f$ 가 속한 구간 검색

‘버림’ 을 수행

```
int Lf_first = int(Lf); // Lf가 속한 구간의 최소값  
int Lf_last = Lf_first + 1; // Lf가 속한 구간의 최대값
```

표정 건현 표 검색

```
int Freeboard_first, Freeboard_last; // 찾은 표정 건현 값을 저장할 공간  
  
for (int i=0; i<342; i++)  
{  
    // Lf가 속하는 범위를 찾음  
    if (Freeboard_A[i][0] == Lf_first)  
    {  
        Freeboard_first = Freeboard_A[i][1];  
        Freeboard_last = Freeboard_A[i+1][1];  
        break;  
    }  
}
```

선형 보간 수행

```
// 선형 보간  
Ft = Freeboard_first * (Lf - Lf_first) + Freeboard_last * (Lf_last - Lf);
```

# 건현 계산 프로그램

## - 표정 건현 계산(5)

### ■ 표정건현 계산 함수 완료

```
void Ship::Calculate_Freeboard_A()
{
    // 표정 건현 표를 2차원 배열로 입력
    int Freeboard_A[342][2] = { {24, 200}, {25, 208},
    {26, 217}, {27, 225}, {28, 233}, {29, 242}, {30, 250},
    {31, 258}, {32, 267}, {33, 275}, {34, 283}, {35, 292},
    {36, 300}, {37, 308}, {38, 316}, {39, 325}, {40, 334},
    // 종략
    {361, 3427}, {362, 3428}, {363, 3430}, {364, 3432}, {365, 3433} };

    int Lf_first = int(Lf); // Lf가 속한 구간의 최소값
    int Lf_last = Lf_first + 1; // Lf가 속한 구간의 최대값

    int Freeboard_first, Freeboard_last; // 찾은 표정 건현 값을 저장할 공간

    for (int i=0; i<342; i++)
    {
        // Lf가 속하는 범위를 찾음
        if (Freeboard_A[i][0] == Lf_first)
        {
            Freeboard_first = Freeboard_A[i][1];
            Freeboard_last = Freeboard_A[i+1][1];
            break;
        }
    }

    // 선형 보간
    Ft = Freeboard_first * (Lf - Lf_first) + Freeboard_last * (Lf_last - Lf);
}
```

# 건현 계산 프로그램

## - 선박의 깊이에 대한 수정

### ■ 선박의 깊이에 대한 수정

범위 분할  $\begin{cases} D_f > L_f / 15 \\ D_f \leq L_f / 15 \end{cases}$



깊이에 대한 수정량

$$= (D_f - L_f / 15) \times R$$



$$R = L_f / 0.48 \quad : L_f < 120 \text{ m}$$

$$R = 250 \quad : L_f \geq 120 \text{ m}$$

```
void Ship::Correction_Depth()
{
    double correct_depth = 0;
```

```
void Ship::Correction_Depth()
{
    double correct_depth = 0;
    double R = 0;
```

```
    if (Df > Lf/15.0)
    {
```

```
void Ship::Correction_Depth()
{
    double correct_depth = 0;
    double R = 0;
```

```
    if (Df > Lf/15.0)
    {
```

```
        if (Lf < 120) { R = Lf / 0.48; } // 범위에 따른 R값 계산
        else { R = 250.0; }
```

```
        correct_depth = (Df - Lf / 15.0) * R; // 깊이에 대한 수정량 계산
```

```
    }
    else
    {
        correct_depth = 0;
    }
}
```

# 건현 계산 프로그램

## - 프로그램의 실행

```
void main()
```

```
{  
  Ship MyShip;
```

```
  /*  
  종략...  
  입력값을 입력한다.  
  */
```

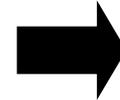
```
  // 함수의 실행
```

```
  MyShip.Calculate_Freeboard();  
  MyShip.Correction_Cb();  
  MyShip.Correction_Depth();  
  MyShip.Correction_Superstructure();  
  MyShip.Correction_Sheer();  
  MyShip.Calculate_MinBowHeight();
```

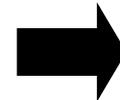
```
  // 종략
```

```
  Print_Result();
```

```
}
```



Ship 클래스 타입의 객체  
“MyShip” 선언



입력값 입력  
(저항 추정 강의 자료 참고)



함수 실행



결과 출력