

[2008][13-1]



Computer aided ship design

Part 3. Optimization Methods

December 2008

Prof. Kyu-Yeul Lee

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

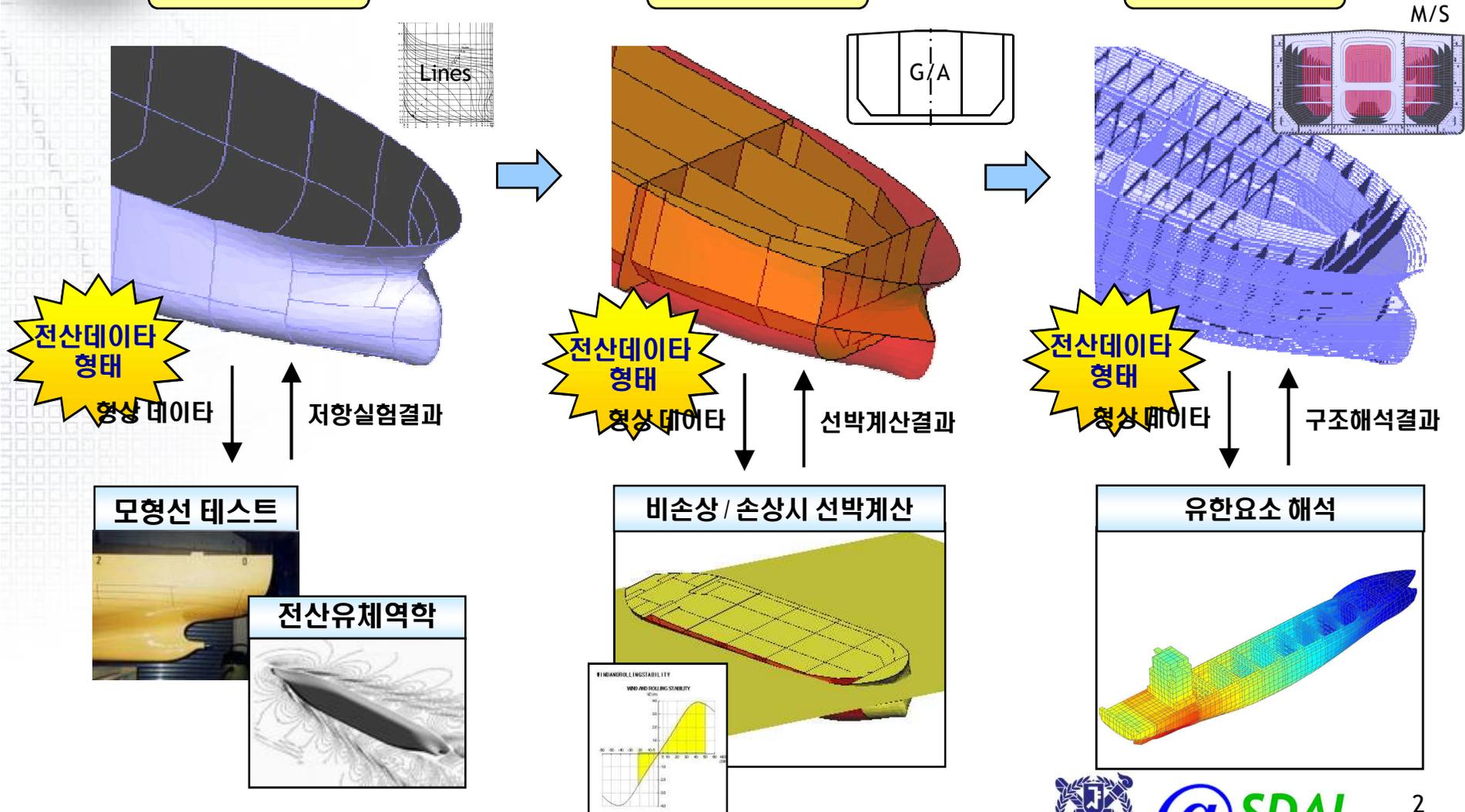
Advanced
Ship
Design
Automation
Laboratory

선박의 기본설계 과정

선박형상설계

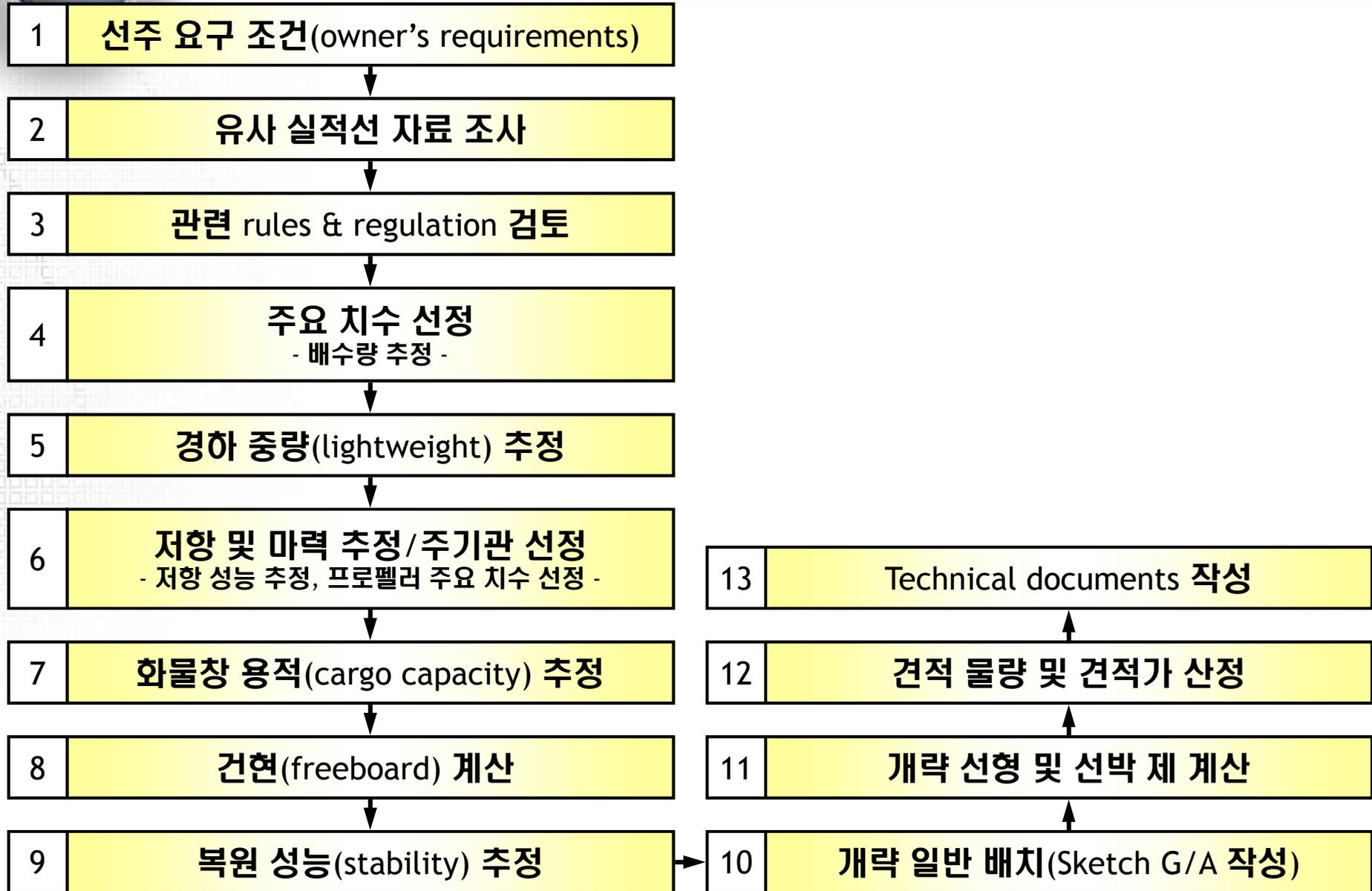
선박구획설계

선박구조설계



선박 주요치수 결정 및 기본 성능 추정(선박의 “개념 설계”)

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





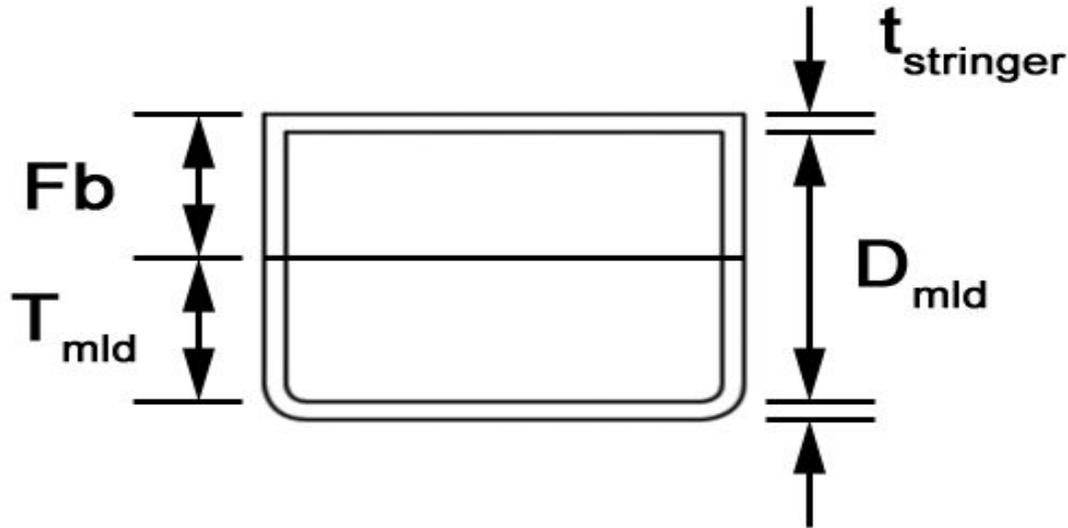
Freeboard Calculation (건현 계산)

서울대학교 조선해양공학과
이규열

Advanced
Ship
Design
Automation
Laboratory

8.건현 계산(1)

- 건현(Freeboard)의 정의

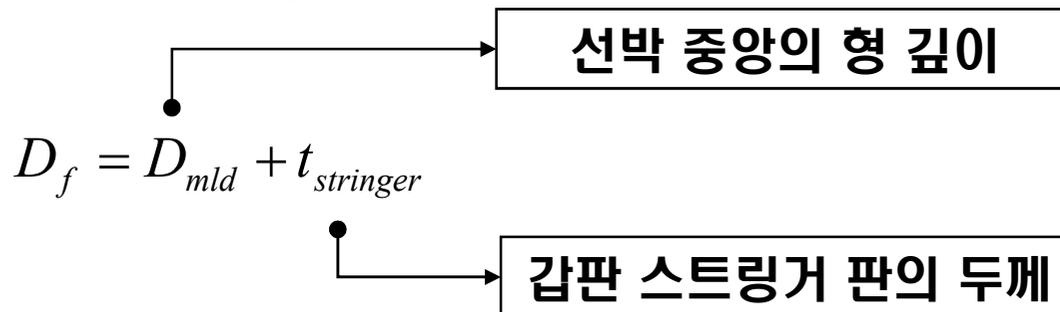


- 건현

- 흘수로부터 Upper Deck의 두께를 포함한 높이

- 건현용 깊이

- 건현용 깊이(D_f)



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.

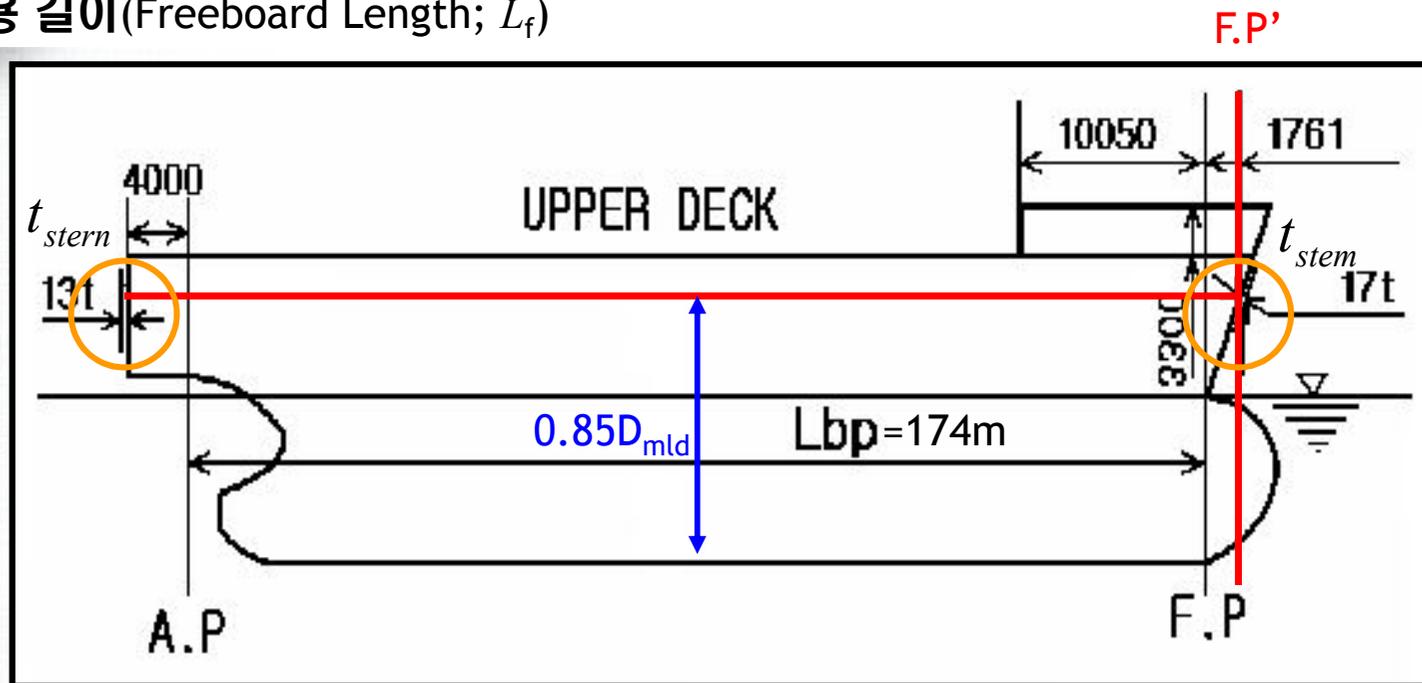
■ 계산 시 참조도면

- 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)



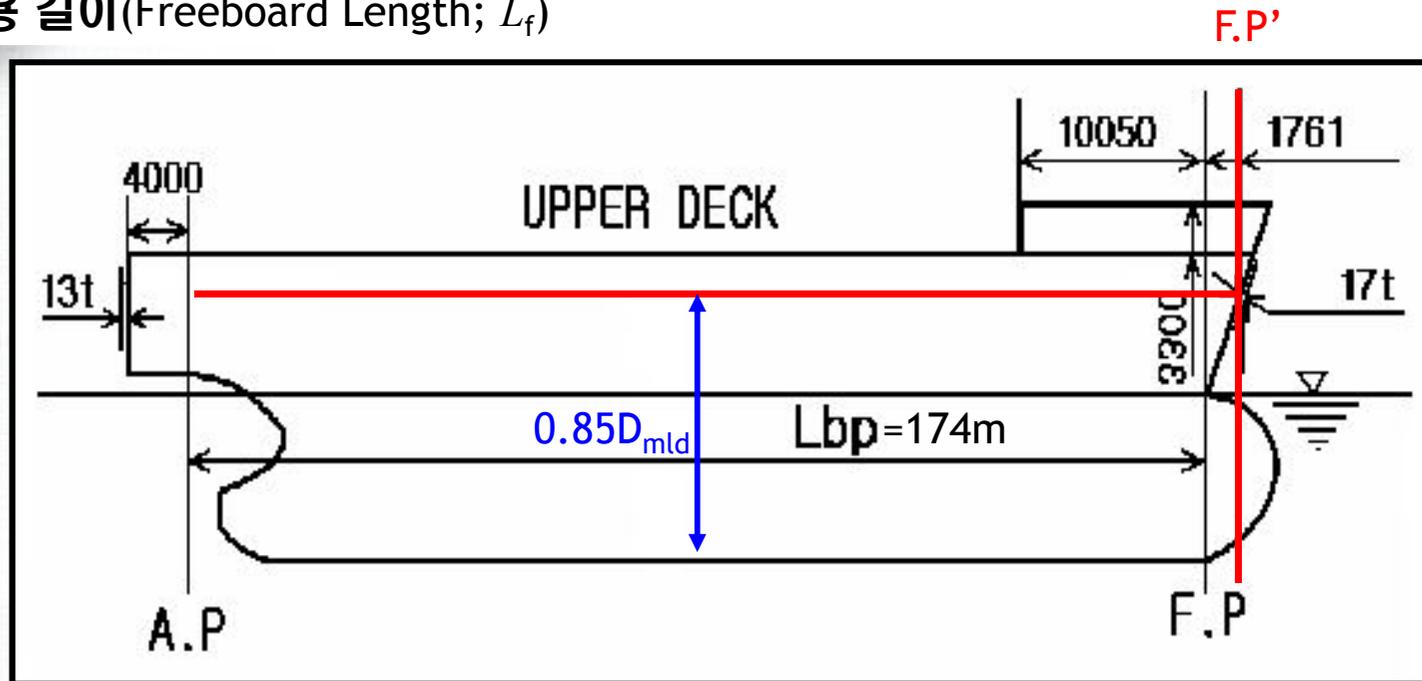
- L_1 = 용골의 상면으로부터 형심의 85%($0.85D_{mld}$)가 되는 흘수선에서의 Total Length(Stem/Stern Thickness 포함)의 96%의 길이

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

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**

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

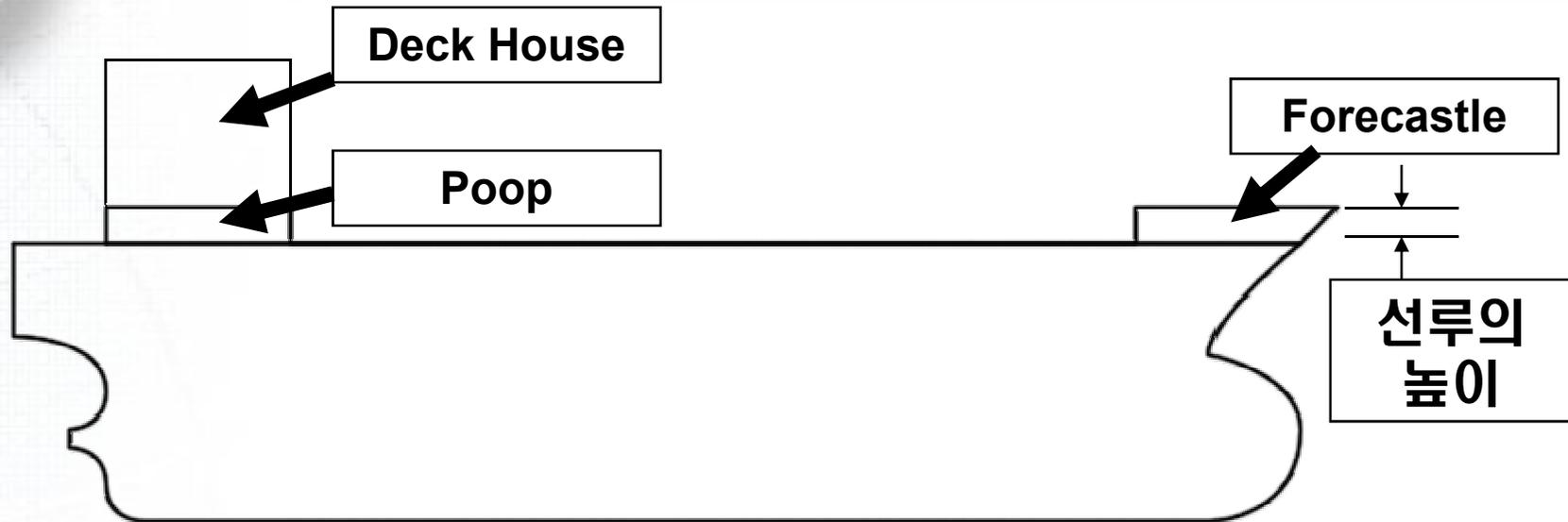
- **건현 갑판(Freeboard Deck)**

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)



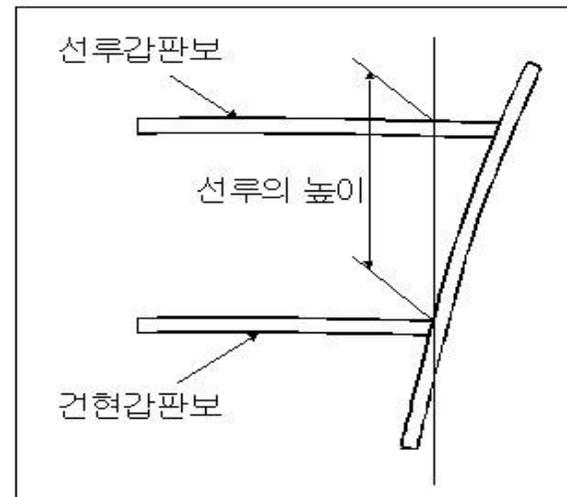
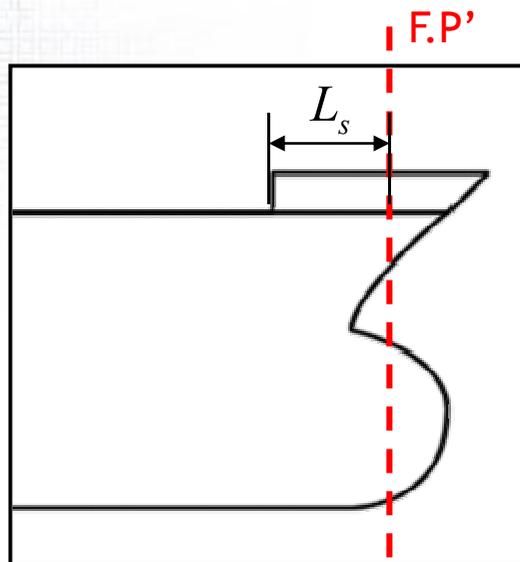
- 선루(Superstructure)
 - 건현 갑판 상에 설치된 상부에 갑판을 가지고 있는 구조물
- 선루의 높이
 - 선루 갑판 보의 상면에서 건현 갑판 보의 상면까지의 최소 수직 높이
- 선루의 길이
 - 건현 길이 범위 내에 있는 선루 부분의 평균 길이

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

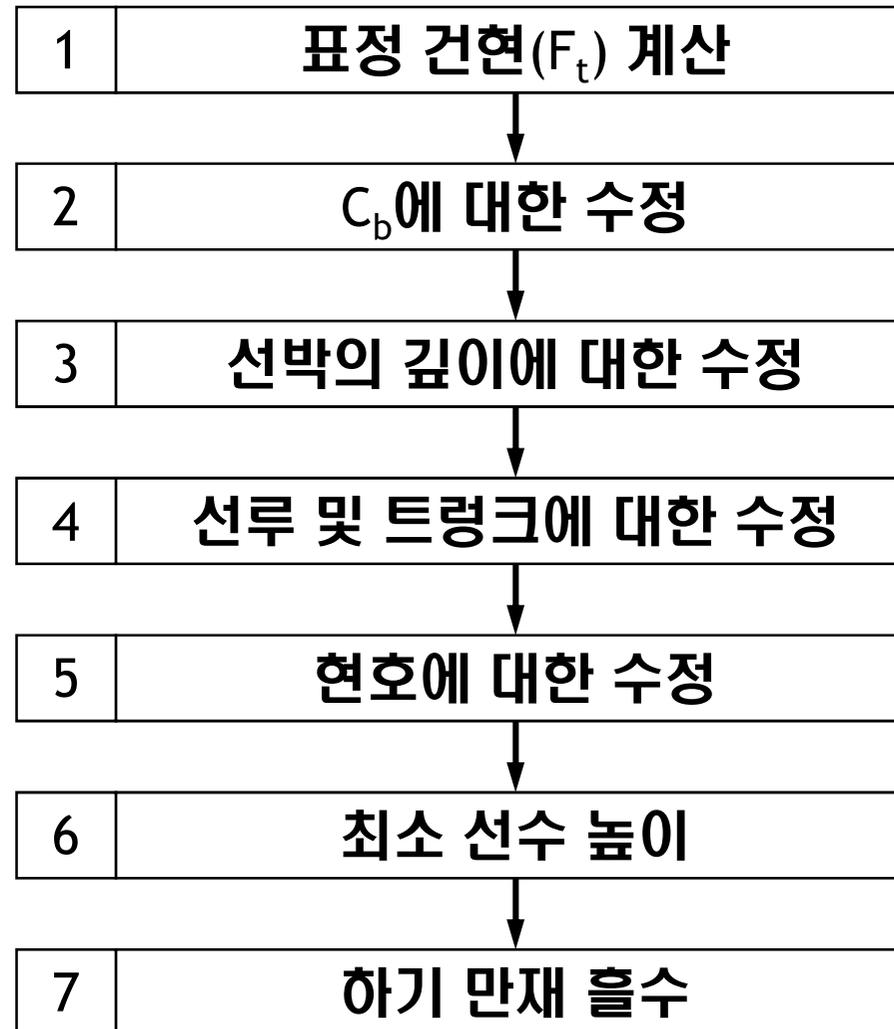
- 'B' 형 선박
 - 'A' 형 선박 이외의 모든 선박(예, 살물선, 컨테이너선 등)

- '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 (m)	건현 (mm)	배의 길이 (m)	건현 (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)

- C_b 에 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

$$D_f > L_f / 15$$

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

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

$$R = 250 \quad : L_f \geq 120m$$

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

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

$\therefore L_f$ 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 \times 수정 계수

배의 형식	선루의 형식		선루 및 트렁크의 유효길이의 합계 (L_E)										
			0	$0.1L_f$	$0.2L_f$	$0.3L_f$	$0.4L_f$	$0.5L_f$	$0.6L_f$	$0.7L_f$	$0.8L_f$	$0.9L_f$	$1.0L_f$
A	모든 형식		0	7	14	21	31	41	52	63	75.3	87.7	100
B	선수루가 있고 분립선교루가 없는 경우	I	0	5	10	15	23.5	32	46	63	75.3	87.7	100
	선수루 및 분립선교루가 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.

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

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.

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

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,

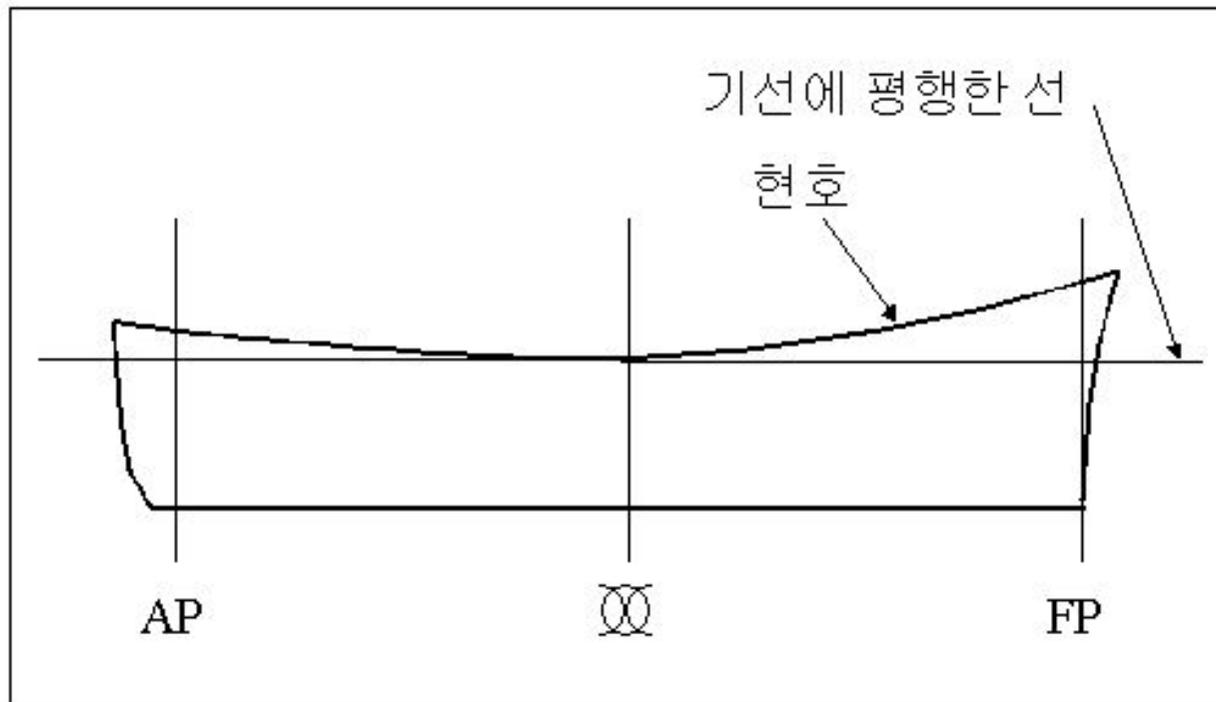
$$I \times \frac{(\text{II} - I) \times L_{bridge}}{0.2L_f} - 5 \times \frac{0.07L_f - L_{f'cle}}{0.07L_f} (\%)$$

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)

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

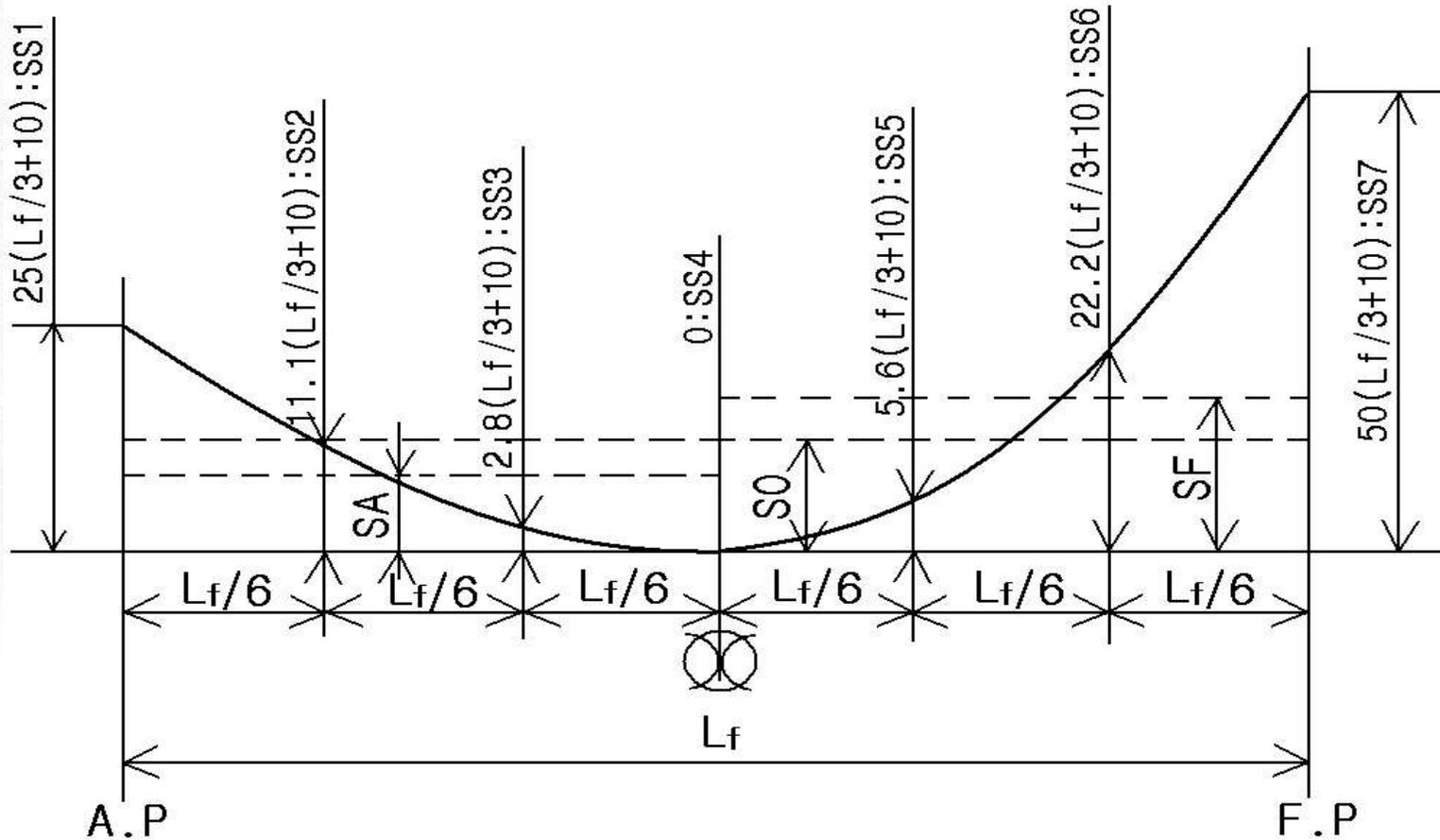
$$\left\{ \begin{array}{l} S_0 : \text{현호의 표준 높이 (mm)} \\ S : \text{실제 현호의 평균 높이 (mm)} \\ r_1 : \text{둘러 막힌 선루의 합계 길이}(L_E)\text{를 } L_f \text{로 나눈 값} \\ r_1 = L_E / L_f \end{array} \right.$$

- $S_0 > S$ 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 반 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
	선체중양점	0	1	S4	1
	평균높이	$S_A = 8.34(L_f/3+10)$		$S_a =$	
전 반 부	선체중양점	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.

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

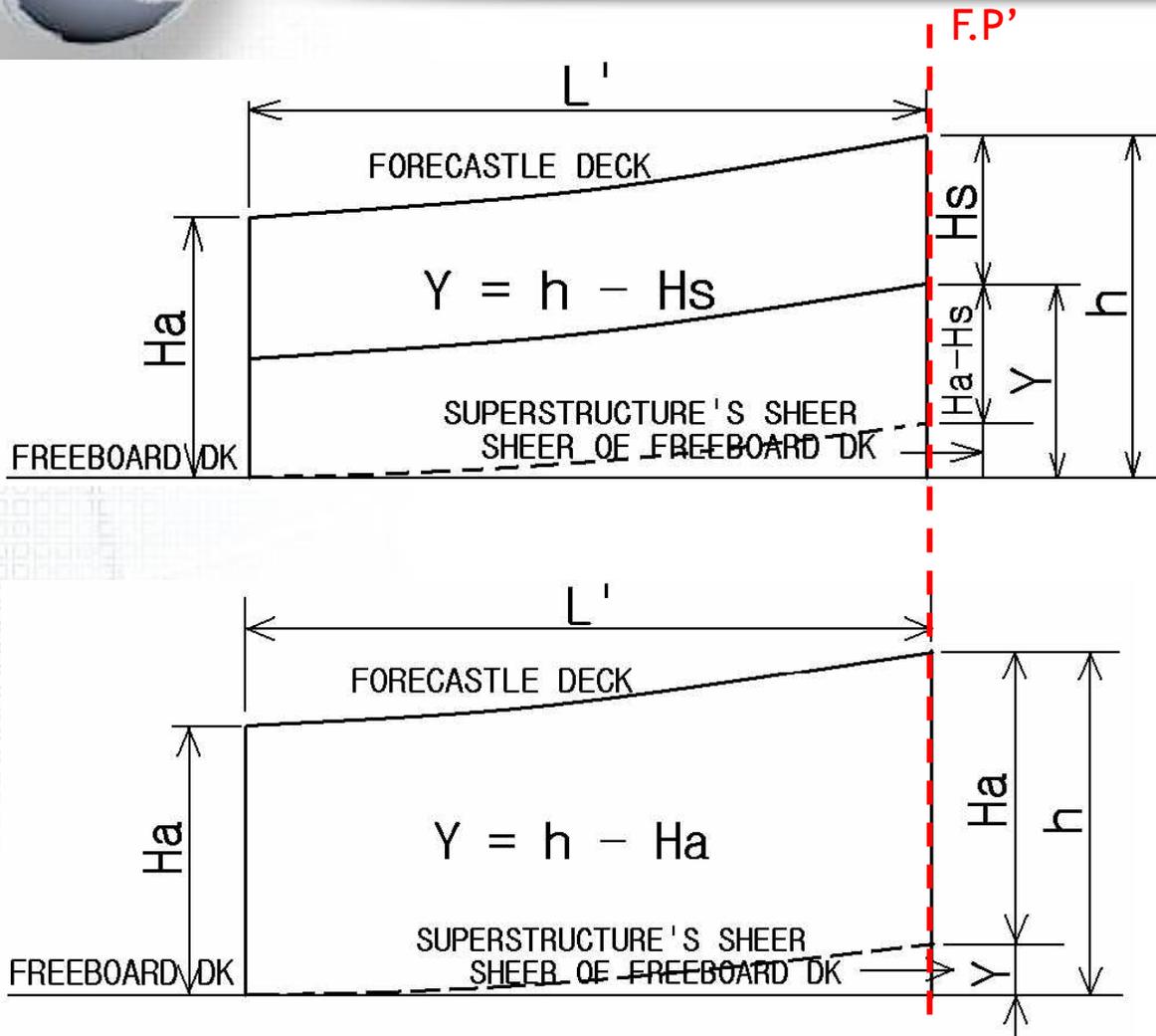
여기서, s : 현호의 평균높이의 증가분

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)



h : FP' 또는 AP에서의 SUPERSTRUCTURE의 높이

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 건현갑판의 현호보다 큰 경우의 Y

8.건현 계산(24)

- 최소 선수 높이

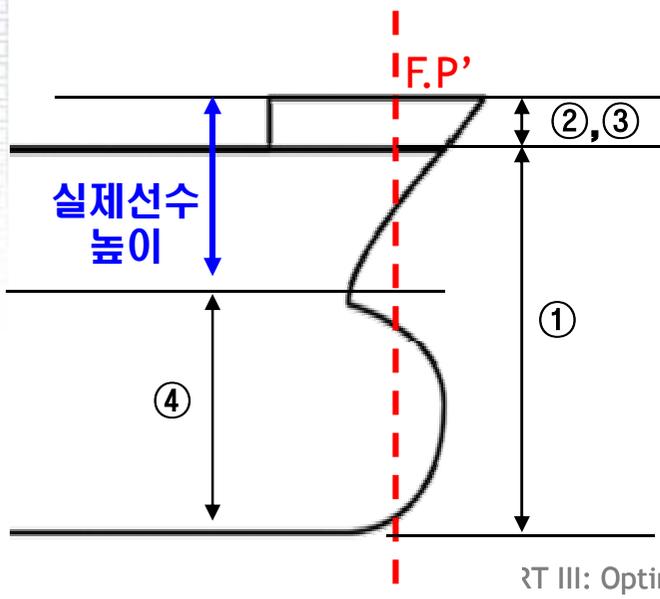
① $L_f < 250m$ 일 때

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

② $L_f \geq 250m$ 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.



실제 선수 높이 = D_{mld} (①) + FP에서의 선수루 높이(②)

+ FP에서의 현호 높이(③) - 계획 하기 만재 흘수(④)

“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 :

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

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

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

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

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

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

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

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

$$(111.7 + 0.275 + 0.025) = 112.00 m$$

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

8. 건현 계산(28)

- 재화중량 7,400 ton 다목적 화물선의 건현 계산 예(3)

2) 표정건현 :

② 표정건현 (B 형 선박)

배의 길이 (m)	건현 (mm)	배의 길이 (m)	건현 (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.

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

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

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

여기서, 건현갑판 스트링거의 두께를 25mm로 가정하였다.

$$D_f = 8.625 m$$

$$L_f / 15 = 112 / 15 = 7.467 m$$

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

② 수정($D_f > L_f / 15$ 일 경우의 표정건현 수정량)

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

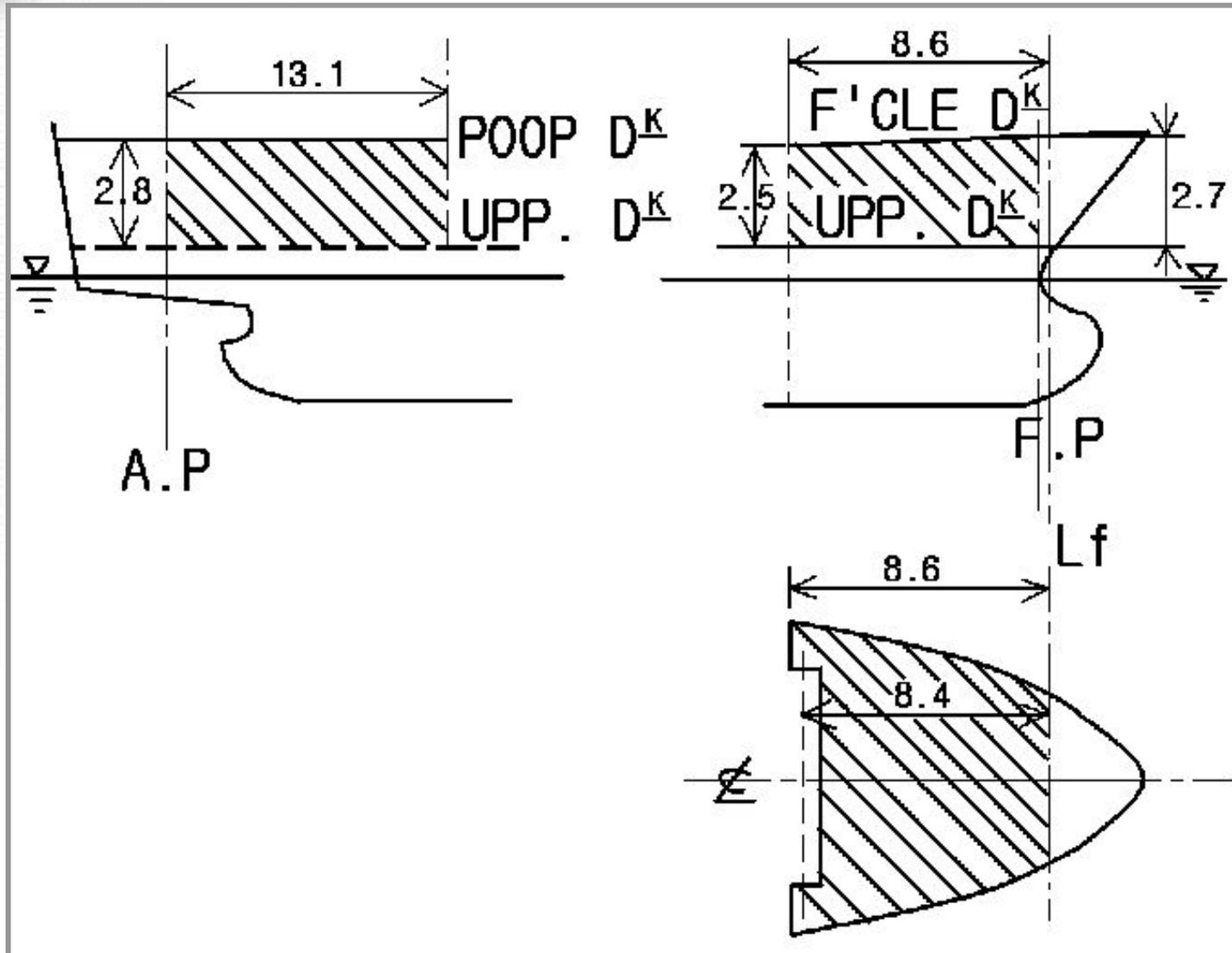
$$= (8.625 - 112 / 15) \times 112 / 0.48$$

$$= 270 mm$$

8. 건현 계산(31)

- 재화중량 7,400 ton 다목적 화물선의 건현 계산 예(6)

5) 선루에 따른 수정



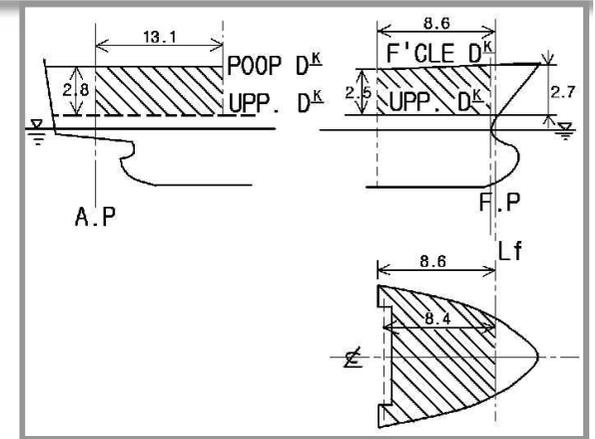
8.건현 계산(32)

- 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 X 5 = 9.6 %

배의 형식	선루의 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 분립선교루가 없는 경우	I	0	5	10	15	23.5	32	46	63	75.3	87.7	100
	선수루 및 분립선교루가 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

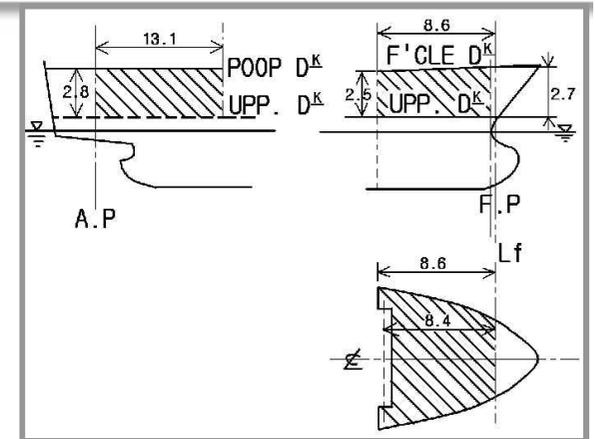
i) 아래 건현 감소길이에서 선형보간법을 사용하여 $L_f = 112\text{ m}$ 일때의 건현 감소길이를 구한다.

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

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

-> 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. 건현 계산(35)

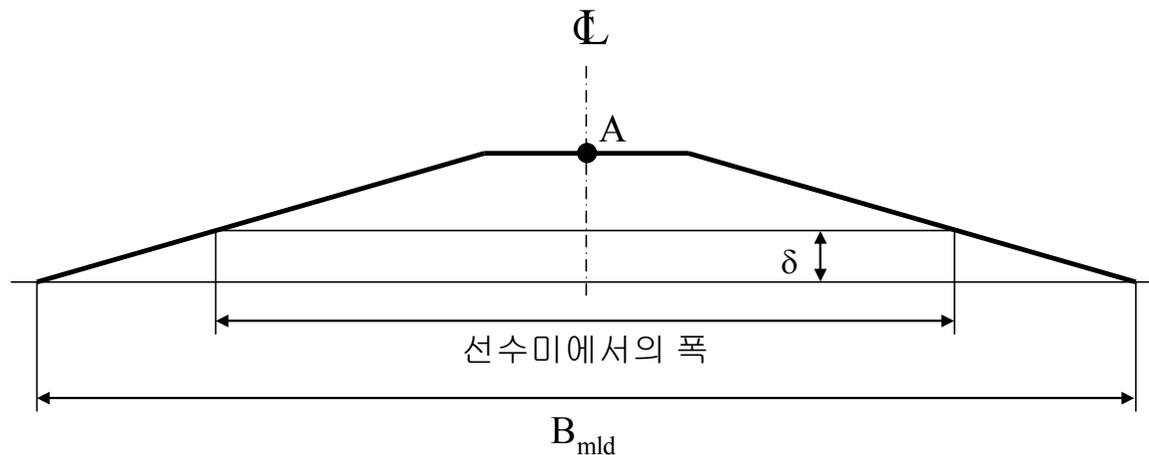
- 재화중량 7,400 ton 다목적 화물선의 건현 계산 예(10)

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

δ : 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)

기 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,

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

실제의 선수 높이 :

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

그러므로 만족한다.



Estimation of Resistance (저항 추정)

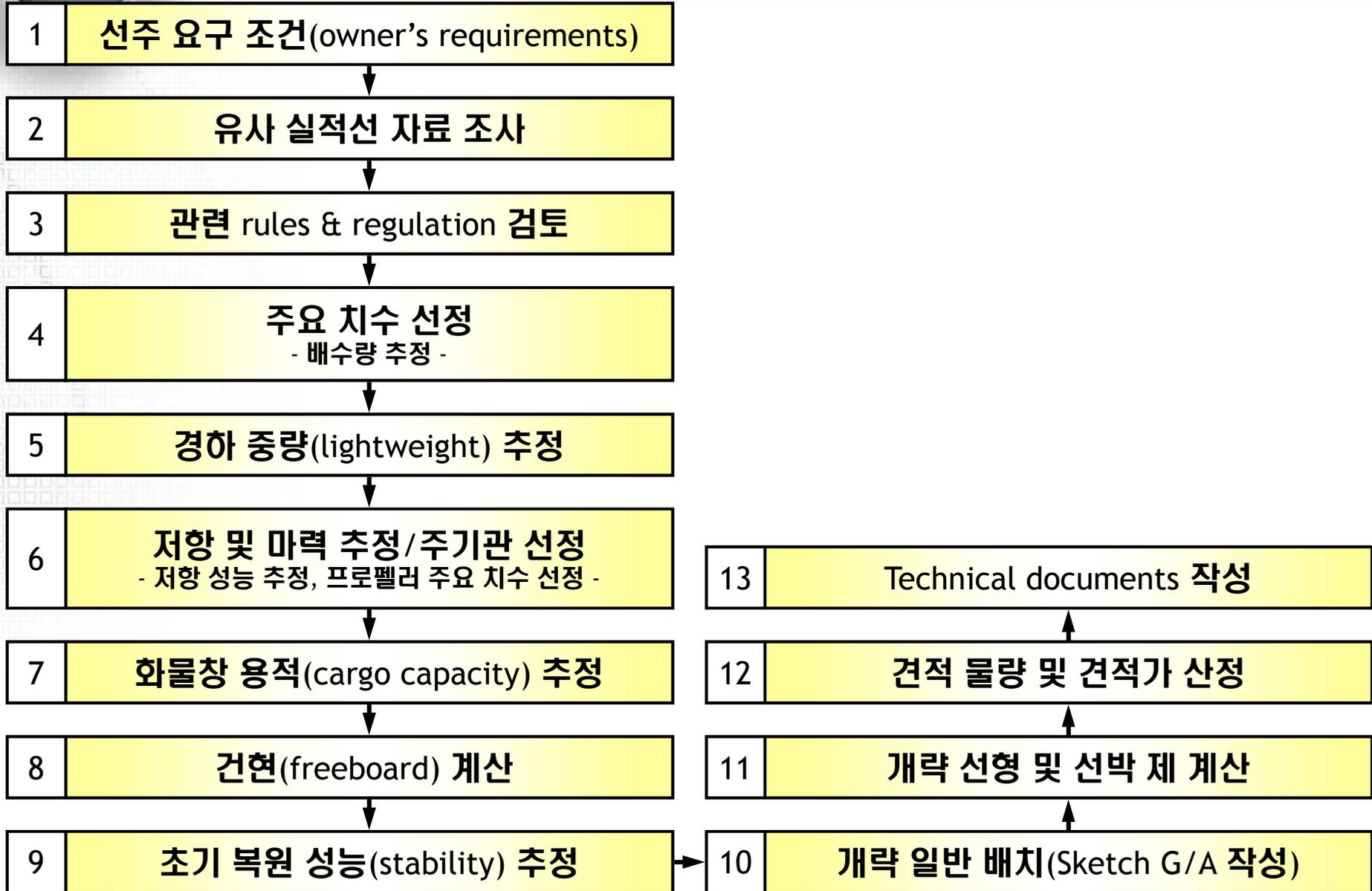
2008.12.03

서울대학교 조선해양공학과
이규열

Advanced
Ship
Design
Automation
Laboratory

선박 개념 설계의 순서

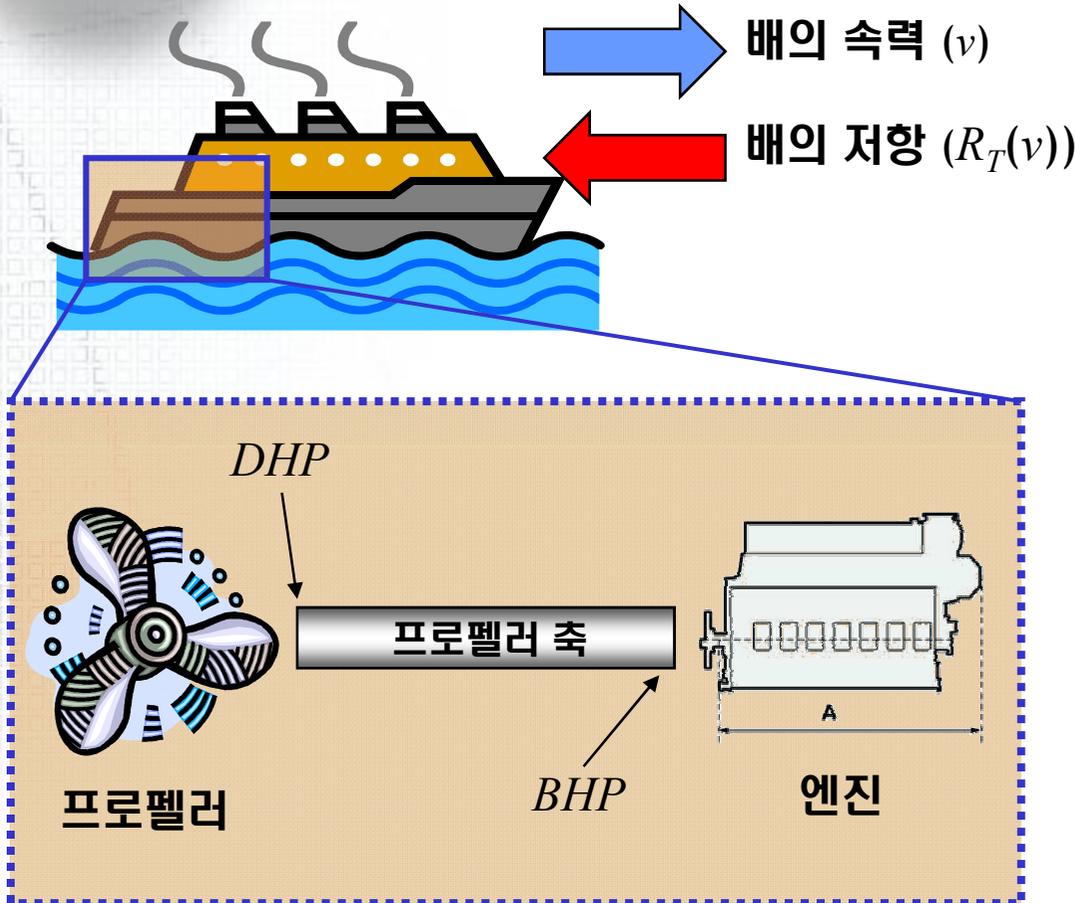
PART 1	선박의 개요
	선박의 종류
	조선 주요 과정
	선박 개념 설계
	VLCC 개념 설계 예



6. 저항, 마력 추정(1)

- 주기관 마력 추정

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



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)

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

6. 저항, 마력 추정(2)

- 주기관 마력 추정

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

- Admiralty계수에 의한 주기관 마력 개략 추정

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

Δ in ton, V in kts, DHP in PS

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

- 기관 마력 추정 과정

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

- 정수중의 유효 마력(EHP; Effective Horse Power) 계산

$$= R_T \cdot V$$

- 추진계수 추정

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

저항(Resistance)의 의미 및 분류

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

■ 저항

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

■ Froude에 의한 저항의 분류

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

■ Hughes에 의한 저항의 분류

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

점성 저항 및 마찰 저항의 계산 방법(1)

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

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

1) 점성 저항 (R_V)

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

2) 마찰 저항 (R_F)

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

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

여기서,

ρ : 해수의 밀도 = 1.025(Mg/m³)

C_F : 평판 마찰 저항 계수

$V[m/s]$: 선박의 속도

$S[m^2]$: 침수 표면적

점성 저항 및 마찰 저항의 계산 방법(2)

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

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

3) 평판 마찰 저항 계수(C_F)

- ITTC(International Towing Tank Committee) 1957 추정식 :

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

여기서,

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

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

점성 저항 및 마찰 저항의 계산 방법(3)

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

- Schoenherr 의 마찰 저항 계수 추정식 :

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

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

4) 표면 조도에 의한 마찰 저항의 증가(ΔR_F)

- 완전히 매끄러운 표면과 비교해서 표면 조도에 기인하는 마찰 저항의 증가분을 의미

- 모형선-실선 상관 수정량(Model-Ship Correlation Allowance)에 포함되는 것으로 간주

- 모형선-실선 상관 수정량이란 수조 모형 시험으로부터 추정된 실선의 저항값을 실선 시운전 계측 결과로부터 결정된 실선 저항과 일치하도록 보정하는 데 필요한 양

5) 조파 저항 $R_w = f(L/B, B/T, C_b, F_n, LCB)$

조파 저항은 선박의 형상에 따라 변함

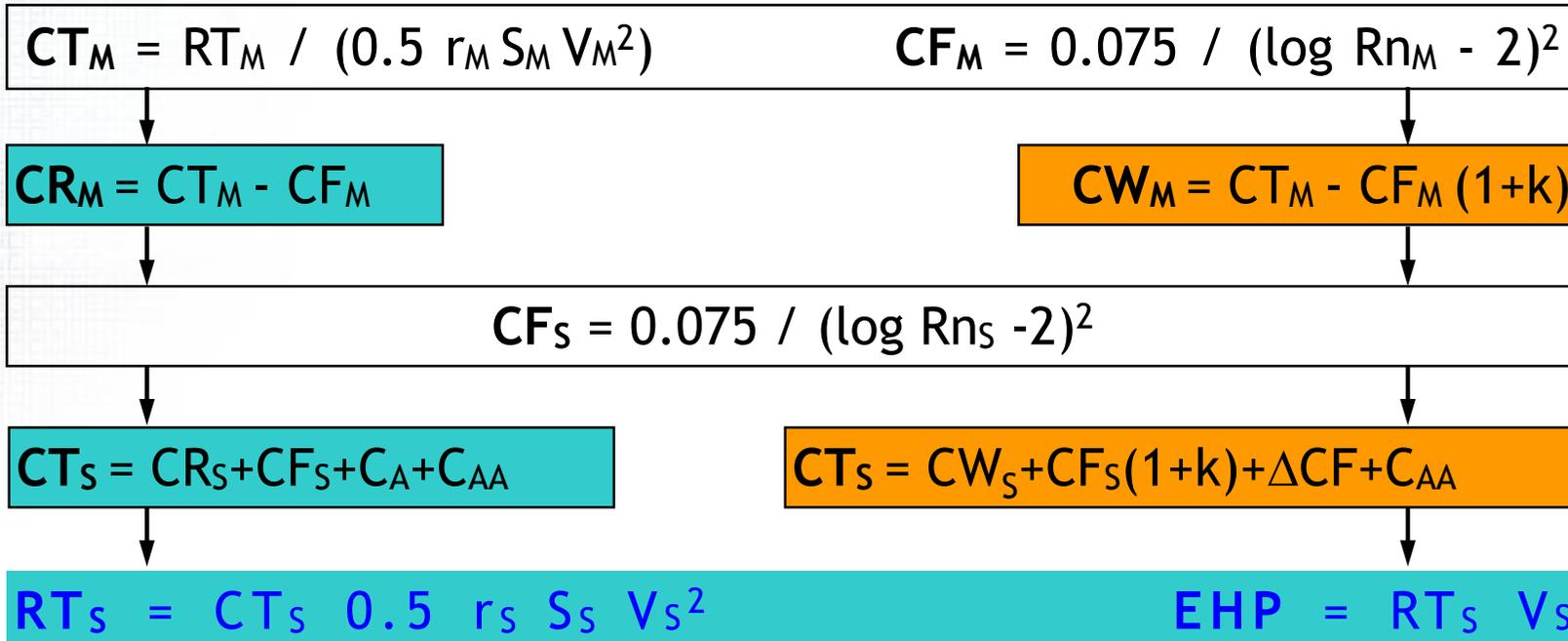
Froude와 Hughes에 의한 저항 계산 방법

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

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

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

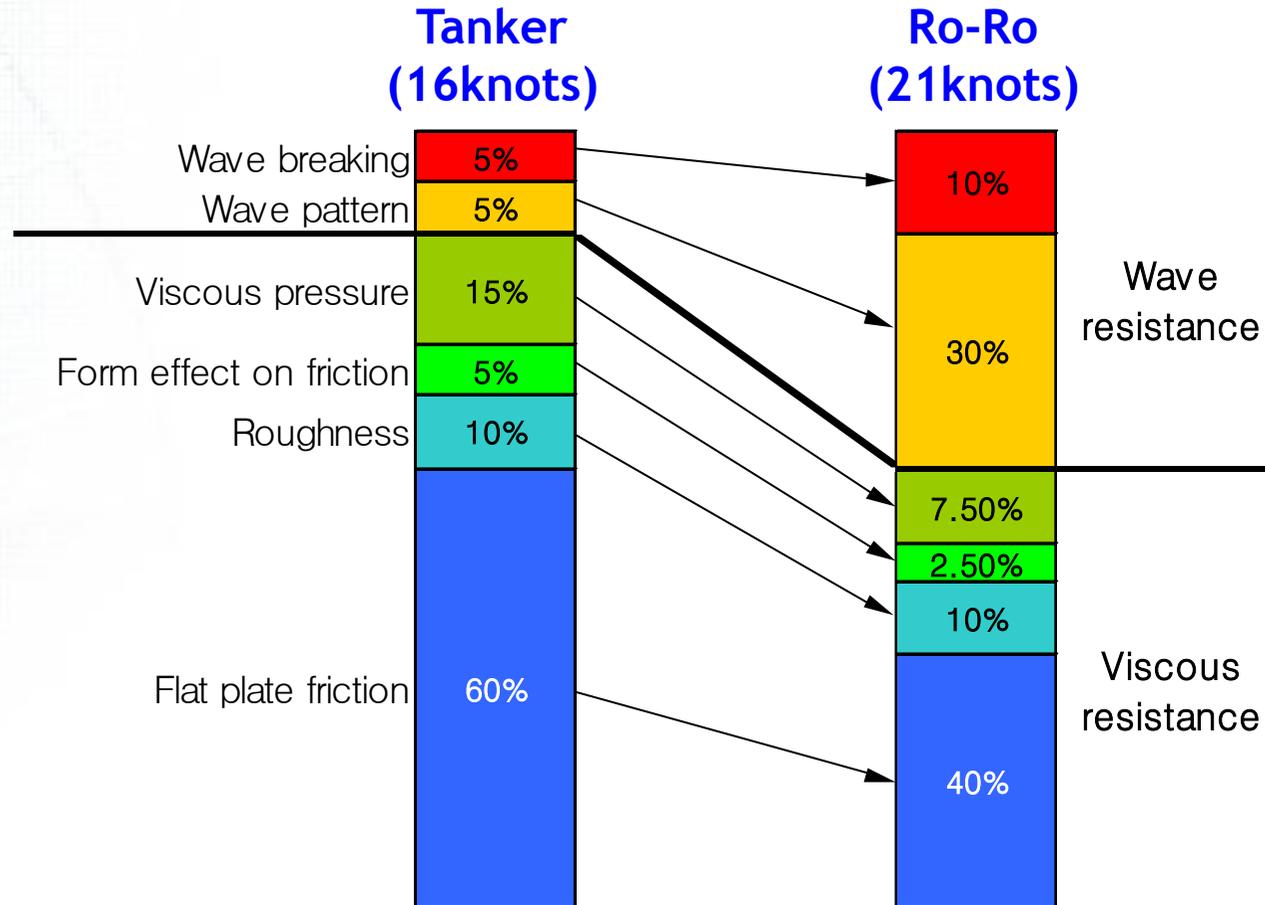
Measured Values [V_M, RT_M]



선종에 따른 저항의 성분별 분포도

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

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

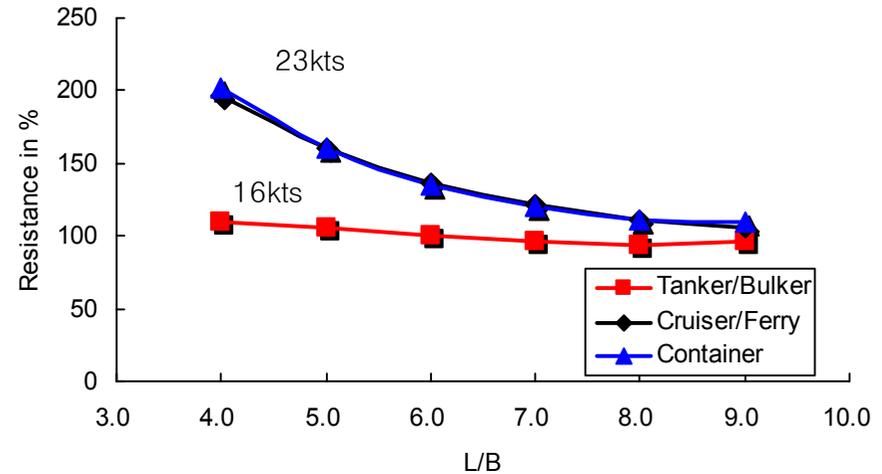


주요 치수에 따른 저항의 변화

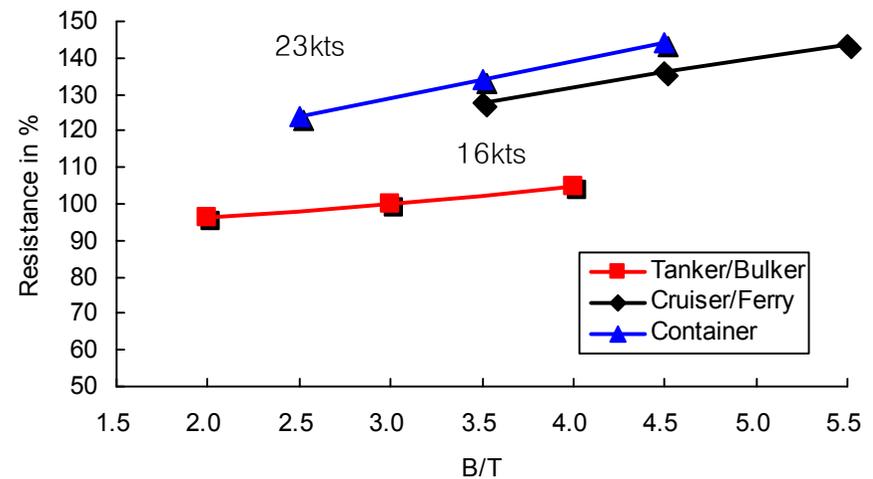
■ L/B의 값이 증가할 수록
(선형이 날씬할 수록)
저항이 감소함

■ B/T의 값이 증가할 수록
(선형이 뚱뚱할 수록)
저항이 증가함

Resistance Change by L/B Ratio



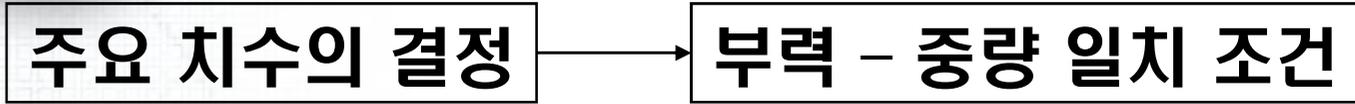
Resistance Change by B/T Ratio



초기 단계에서의 저항 추정

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

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

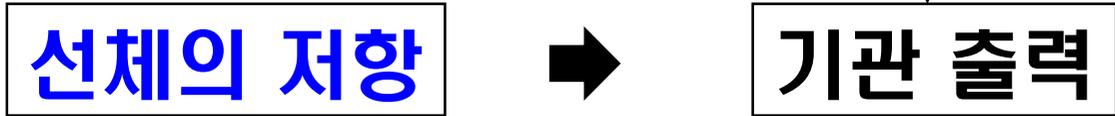


$$\Delta = L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \rho \cdot (1 + \alpha) = LWT + DWT$$

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

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

$$W_M = C_M \cdot \frac{NMCR}{\eta}$$



- * W_S : 선각 중량
- * W_O : 의장 중량
- * W_M : 기관 중량

선체 저항과 기관 출력의 관계

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

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

$$BHP = DHP / \eta_T$$

$$DHP = EHP / \eta_D$$

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

$$EHP = R_T \cdot V$$

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

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

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

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

통계적 방법에 의한 저항 및 마력의 추정

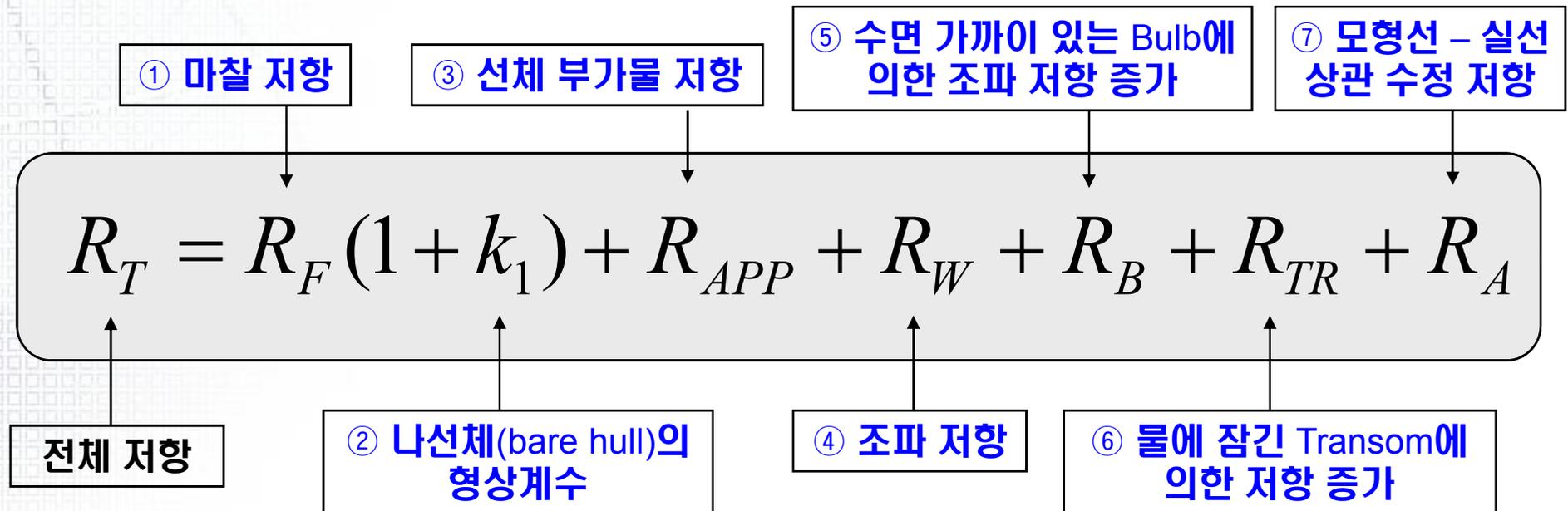
- 초기 설계 단계에서는 통계적인 방법을 이용하여 저항 및 마력을 개략적으로 추정함
- 저항 및 마력 추정을 위한 통계적 방법
 - Holtrop & Mennen 방법
 - 기준선 자료에 의한 저항 성능 추정

Holtrop & Mennen의 저항 추정 방법

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

마력주기관	저항 및 마력 추정
	프로펠러 주요 치수
	주기관 선정

■ Holtrop & Mennen이 제안한 추정식



Holtrop & Mennen의 저항 추정 방법

- ① 마찰 저항

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

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

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

C_F : 마찰계수 (ITTC 1957 추정식)

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

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

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

S_{bh} : 나선체 (Bare Hull)의 침수 표면적

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

이들 **형상계수**들은 모두가 수선 길이 L_{WL} 을 기준으로 한다.

Reynolds Number(Rn)의 의미

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

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

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

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

V : 유동 또는 물체의 특성 속도

L : 유동 또는 물체의 특성 길이

ν : 유체의 동점성 계수

$\nu = 10$ 도 해수: 1.35×10^{-6}

15도 해수: 1.19×10^{-6}

Froud Number(Fn)의 의미

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

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

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

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

V : 유동 또는 물체의 특성 속도

L : 유동 또는 물체의 특성 길이

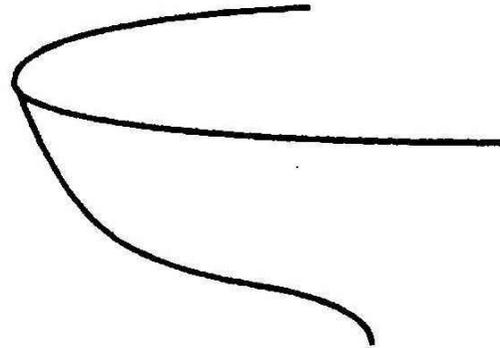
g : 중력 가속도

선미부의 형상

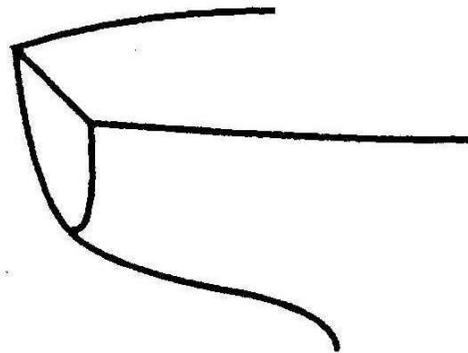
선미부의 형상

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

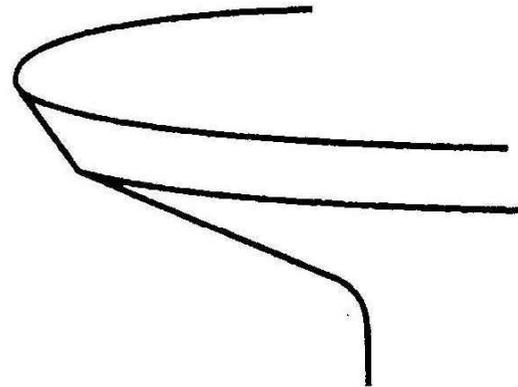
마 력 주 기 관	저항 및 마력 추정
	프로펠러 주요 치수
	주기관 선정



(A) 순양함형 선미



(B) 트랜섬 선미

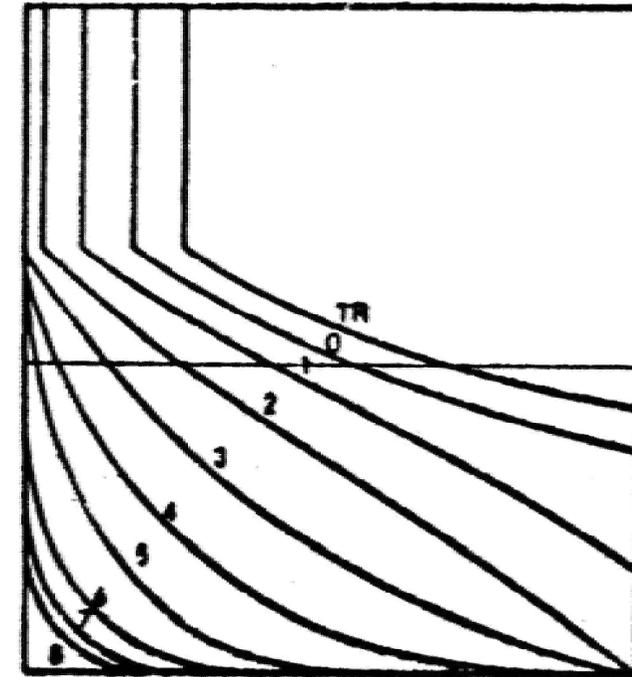
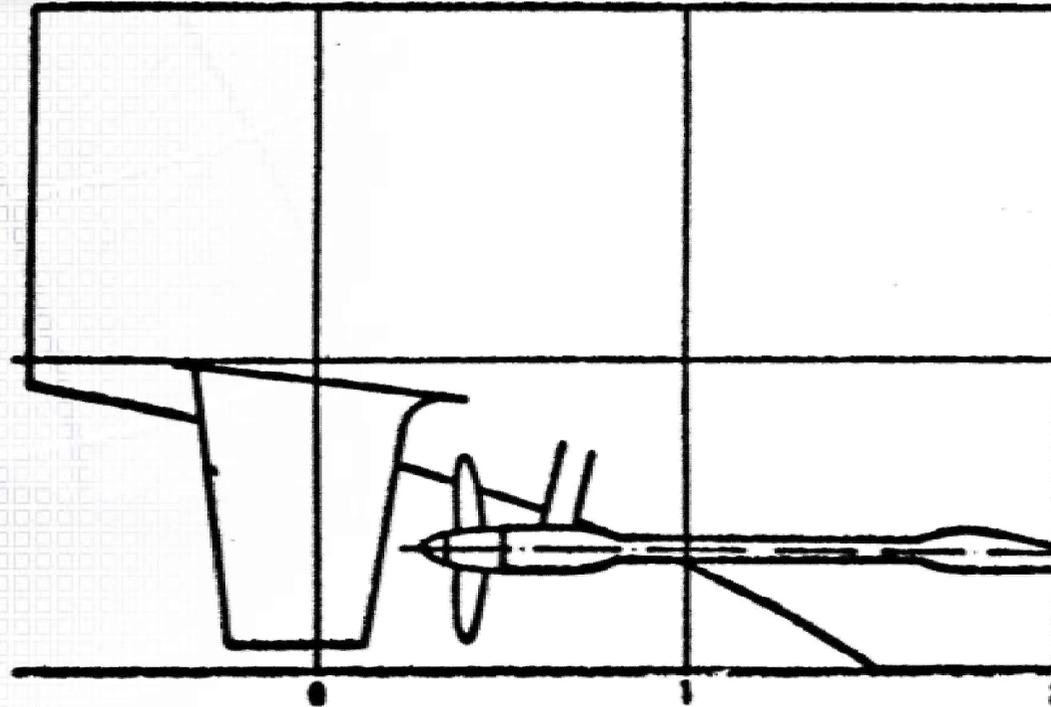


(C) 카운터 선미

선체 부가물

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

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

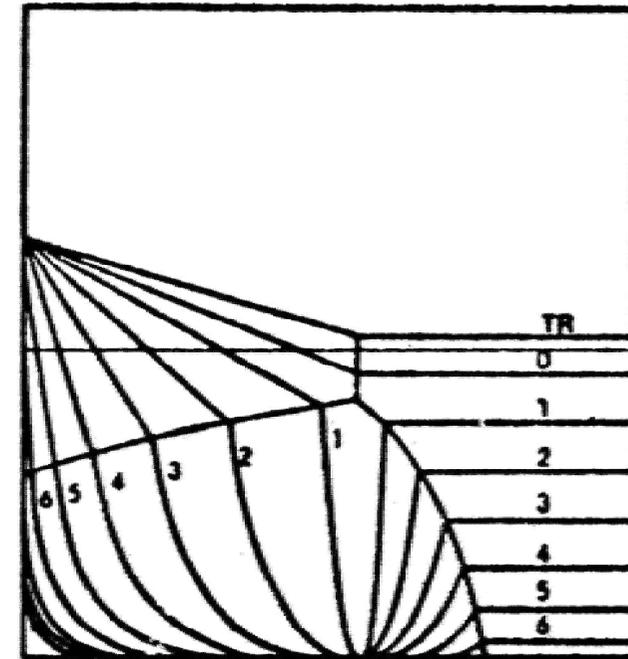
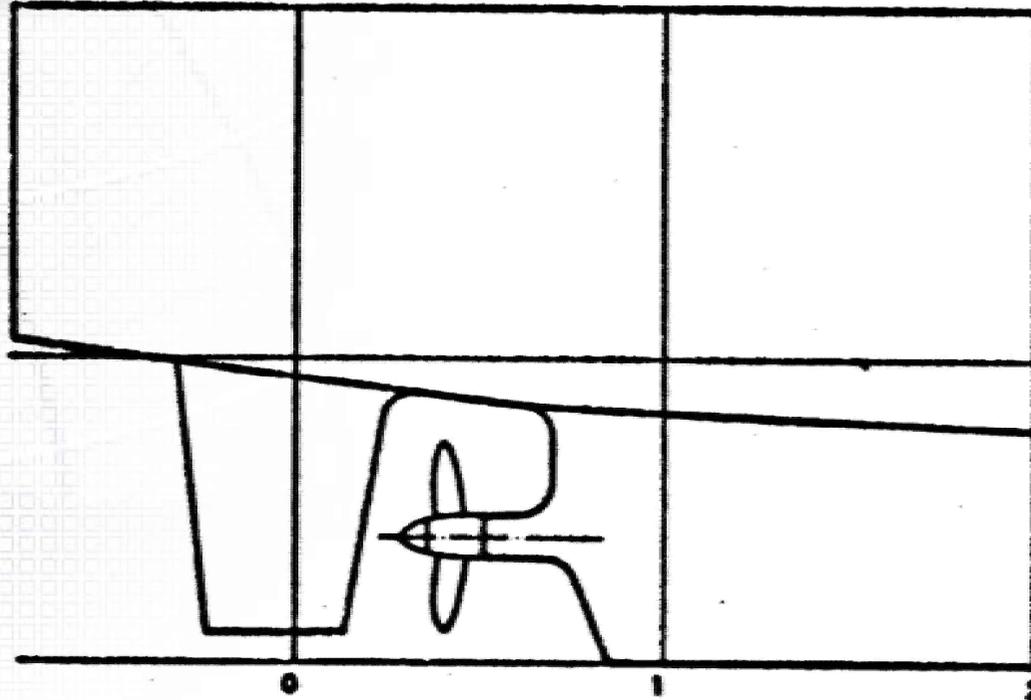


Conventional twin-screw after body hull form

선체 부가물

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

마력주기관	저항 및 마력 추정
	프로펠러 주요 치수
	주기관 선정



Twin-screw twin-skeg after body hull form

마 령 주 기 관	저항 및 마력 추정
	프로펠러 주요 치수
	주기관 선정

Holtrop & Mennen의 저항 추정 방법

- ② 나선체(bare hull)의 형상 계수

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

C_F : 선미 단면 형상을 정의하는 계수

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

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

L_R : Length of run

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

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

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

형상 계수(k_1, k_2)의 의미

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

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

Holtrop & Mennen의 저항 추정 방법

- ③ 선체 부가물 저항

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

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

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

S_{APP} : 부가물의 침수 표면적

$(1 + k_2)$: 부가물의 형상 계수

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

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

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

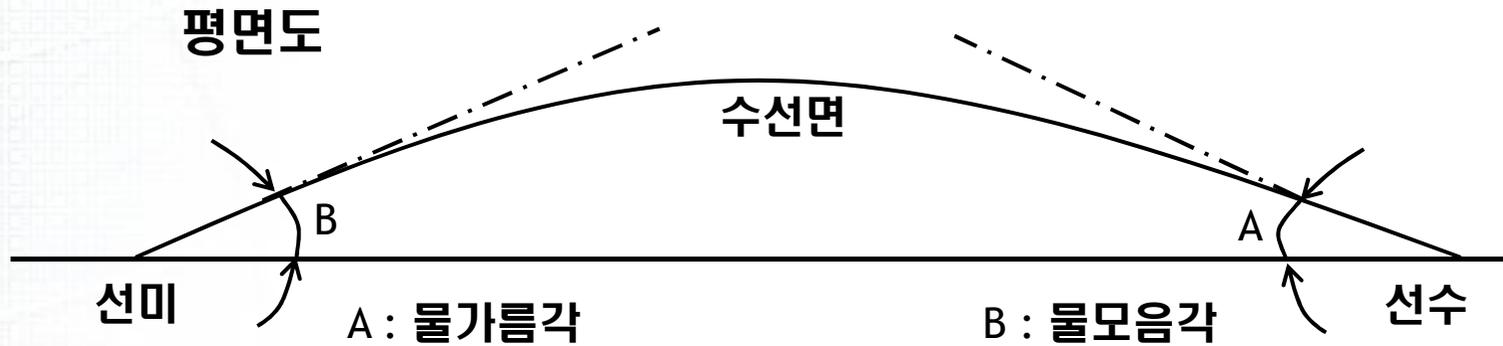
S_i 와 $(1+k_2)_i$ 는 i 번째 부가물의 침수표면적과 부가물 계수

물가름각(entrance angle)

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

마력주기관	저항 및 마력 추정
	프로펠러 주요 치수
	주기관 선정

물가름각(entrance angle)의 의미



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

Holtrop & Mennen의 저항 추정 방법

- ④ 조파 저항(낮은 속도 범위)

- 낮은 속도 범위: $F_n \leq 0.4$

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

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

$$C_7 = 0.229577(B/L)^{0.33333} \quad : B/L \leq 0.11 \text{ 일 때}$$

$$C_7 = B/L \quad : 0.11 \leq B/L \leq 0.25 \text{ 일 때}$$

$$C_7 = 0.5 - 0.0625B/L \quad : 0.25 \leq B/L \text{ 일 때}$$

i_E : 만재흘수선상에서 entrance angle의 1/2

초기설계 단계에서 만재흘수선 위치에서의 i_E 를 알 수 없는 경우 추정식

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

C_2 : bulb에 의한 조파저항 감소효과를 나타내는 계수

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

$$C_3 = 0.56 A_{BT}^{1.5} / \{ B \cdot T (0.31\sqrt{A_{BT}} + T_F - h_B) \}$$

A_{BT} : 선수수선 위치에서의 bulb의 횡단면적

h_B : 기선으로부터 면적 A_{BT} 의 중심위치까지의 높이

T_F : 선수수선 위치에서의 형흘수

계속 → 68

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

Holtrop & Mennen의 저항 추정 방법

- ④ 조파 저항(낮은 속도 범위)

C_5 : transom stern에 의한 조파 저항 감소 효과를 나타내는 계수

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

A_T : 속도가 0일 때의 transom 부분의 물속에 잠긴 면적

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

$$d = -0.9$$

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

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

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

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

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

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

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

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

L : Waterline length

T : 평균 형흘수 (m)

B : 형폭 (m)

∇ : 배수용적 (m³)

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

Holtrop & Mennen의 저항 추정 방법

- ④ 조파 저항(높은 속도 범위)

- 높은 속도 범위: $0.55 \leq F_n$

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

낮은 속도 범위에서 다음 두 계수가 달라짐

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

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

마 력 주 기 관	지방 및 마력 추정
	프로펠러 주요 치수
	주기관 선정

Holtrop & Mennen의 저항 추정 방법

- ④ 조파 저항(중간 속도 범위)

- 중간 속도 범위: $0.4 \leq F_n \leq 0.55$

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

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

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

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

Holtrop & Mennen의 저항 추정 방법

- ⑤ 수면 가까이 있는 Bulb에 의한 조파 저항 증가

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

P_B : bulbous bow의 수면 가까이 있는 정도를 나타내는 계수

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

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

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

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

즉, $R_B=0$ 로 둔다

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

Holtrop & Mennen의 저항 추정 방법

- ⑥ 물에 잠긴 transom에 의한 저항

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

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

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

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

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

Holtrop & Mennen의 저항 추정 방법

- ⑦ 모형선-실선 상관 수정 저항

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

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

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

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

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

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

Taylor & Gertler의 저항 추정 방법

(Taylor 수조의 도표)

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

무차원화 하면 다음과 같다.

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

C_F : Schoenherr 마찰저항계수

ΔC_F : 가정

C_R : 가정

C_{A1} : Residual resistance coefficient

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

$B/T = 2.25, 3.00, 3.75$ 의 경우에 대해서

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

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

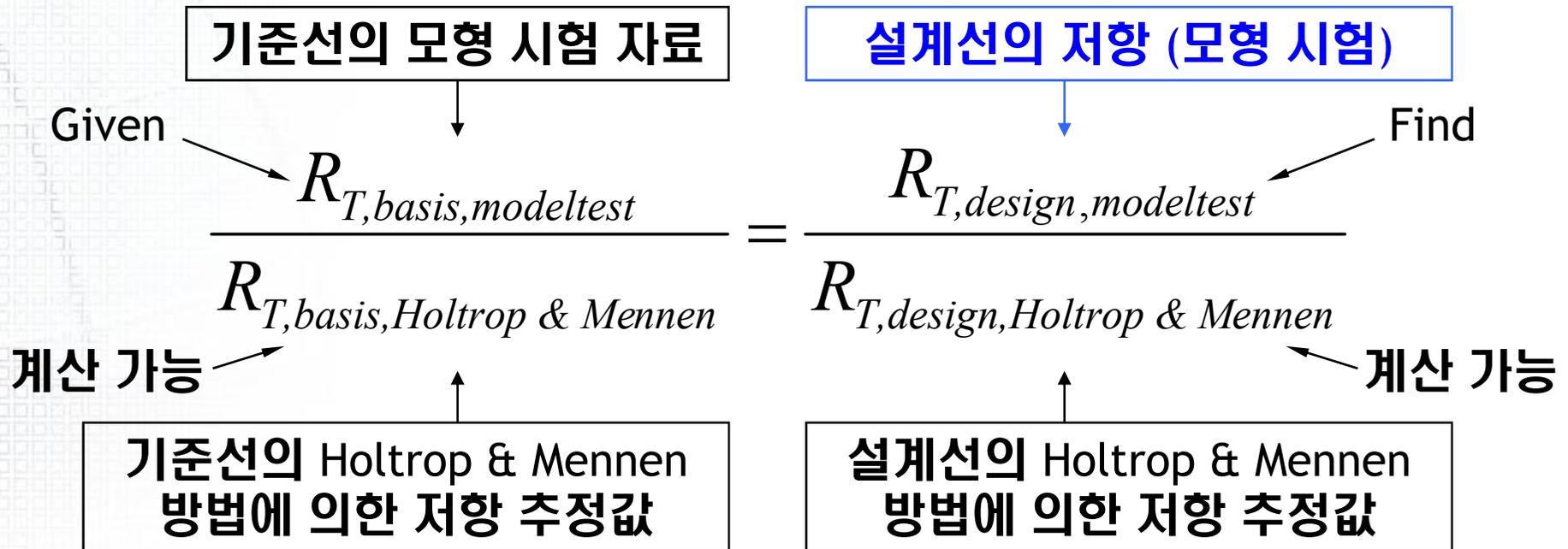
특기 사항

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

기준선 자료에 의한 저항 성능 추정

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

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



저항으로부터 마력의 추정

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

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

$$EHP = R_T \cdot V$$

$$DHP = EHP / \eta_D$$

$$BHP = DHP / \eta_T$$

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

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

where,

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

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

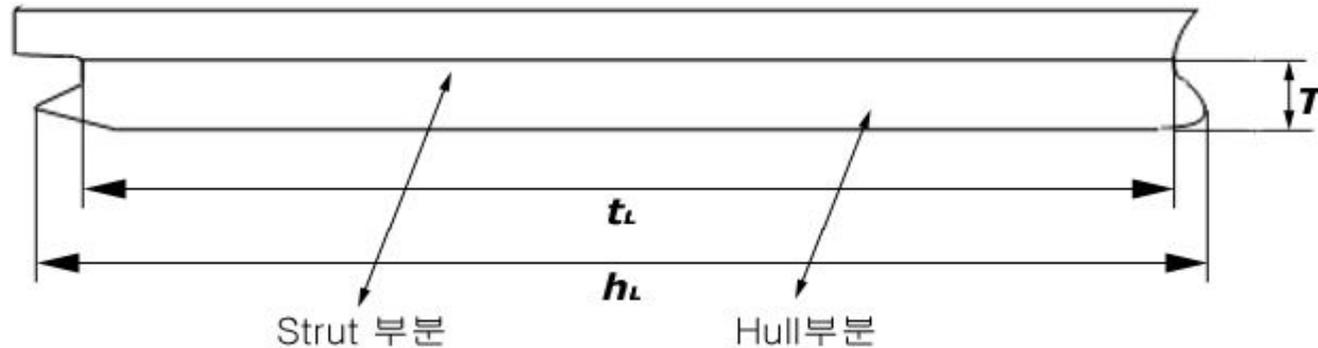
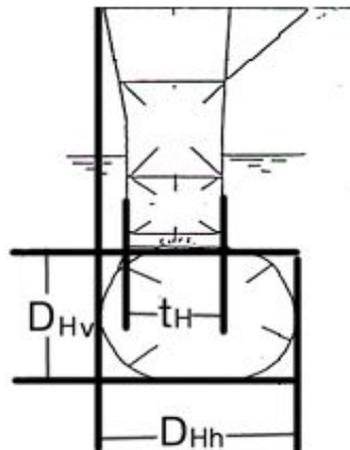
잠수함의 저항 및 마력 추정 방법

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

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

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

SWATH의 저항 및 마력 추정 방법



$$C_{wp} = \text{Strut 넓이} / t_L * t_H \quad C_{p_h} = \text{Hull의 부피} / (h_L * \pi * R^2)$$

일반 상선과의 차이점

:: Hull = lowerhull + strut

침수 표면적 계산에 많은 차이가 있음

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

• Bulb가 존재하지 않음

$$\therefore R_B = 0$$

• Transom이 존재하지 않음

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



Term Project #9 - 1 Calculation of ship resistance and freeboard

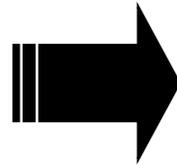
Advanced
Ship
Design
Automation
Laboratory

건현 계산 프로그램

- 입력과 출력

입력 값

- $L_{bp} = 111.7 \text{ m}$
- $B_{mld} = 19.2 \text{ m}$
- $D_{mld} = 8.6 \text{ m}$
- $T_{mld} = 6.45 \text{ m}$
- $C_b = 0.734$ (at $T = 6.45 \text{ m}$)
- 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
- C_b 에 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.

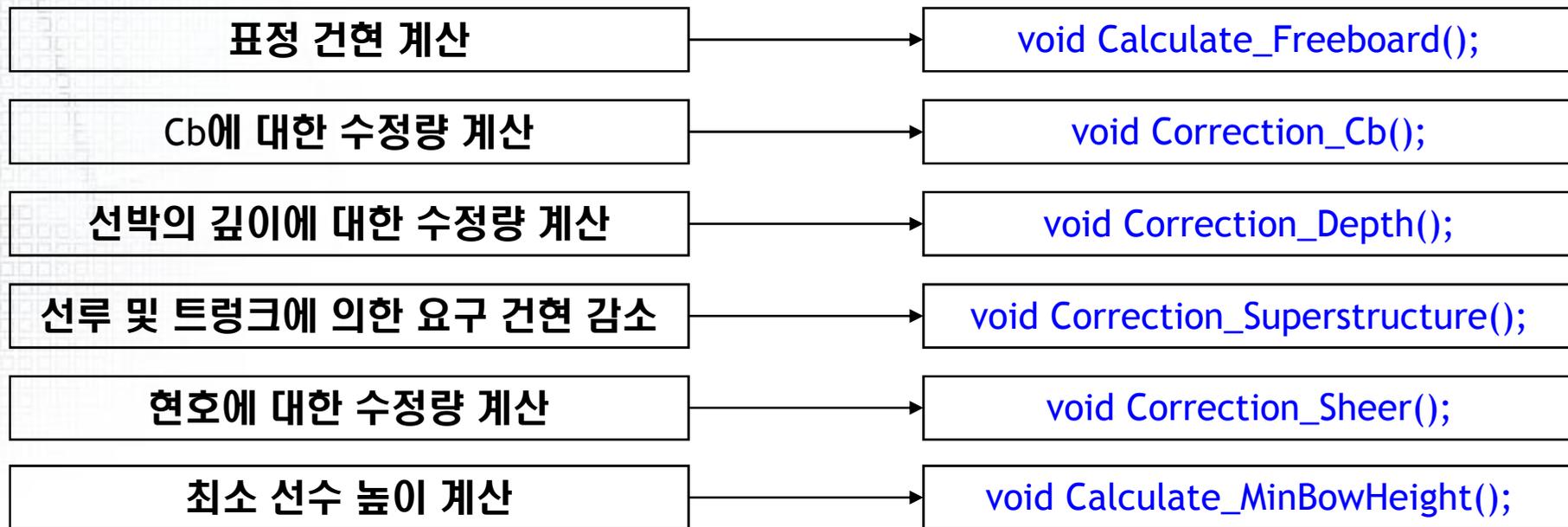
건현 계산 프로그램

- 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()
{}

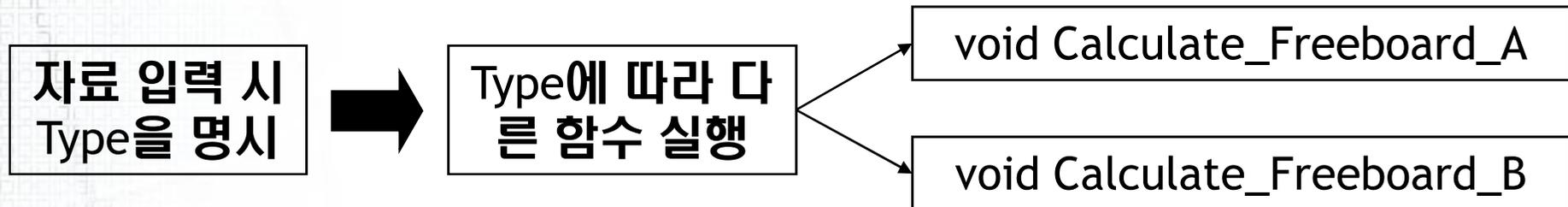
void Ship::Correction_Sheer()
{}

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

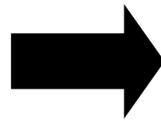
```
void Ship::Calculate_Freeboard()  
{  
    if (Type == 'A') { Calculate_Freeboard_A(); }  
    else if (Type == 'B') { Calculate_Freeboard_B(); }  
    else { printf("선택된 선박의 Type이 없습니다.\n"); }  
}
```

건현 계산 프로그램

- 표정 건현 계산(2)

■ 표정 건현 표의 입력

배의 길이 (m)	건현 (mm)	배의 길이 (m)	건현 (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},
    // 종략
    {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

$L_f = 320.6\text{m}$ 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

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

건현 계산 프로그램

- 표정 건현 계산(4)

■ 표정 건현 표에서 L_f 가 속한 구간 검색

‘버림’ 을 수행

```
int Lf_first = int(Lf); //  $L_f$ 가 속한 구간의 최소값  
int Lf_last = Lf_first + 1; //  $L_f$ 가 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++)  
{  
    //  $L_f$ 가 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},
    // 종락
    {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;
        }
    }

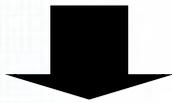
    // 선형 보간
    Ft = Freeboard_first * (Lf - Lf_first) + Freeboard_last * (Lf_last - Lf);
}
```

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



$R = L_f / 0.48 : L_f < 120m$

$R = 250 : L_f \geq 120m$

```
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()
```

```
{
```

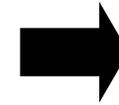
```
Ship MyShip;
```

```
/*  
중략...  
입력값을 입력한다.  
*/
```

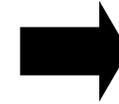
```
// 함수의 실행  
MyShip.Calculate_Freeboard();  
MyShip.Correction_Cb();  
MyShip.Correction_Depth();  
MyShip.Correction_Superstructure();  
MyShip.Correction_Sheer();  
MyShip.Calculate_MinBowHeight();  
// 중략
```

```
Print_Result();
```

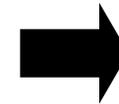
```
}
```



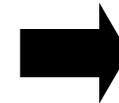
Ship 클래스 타입의 객체
“MyShip” 선언



입력값 입력
(저항 추정 강의 자료 참고)



함수 실행



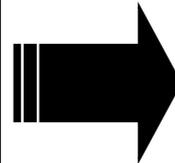
결과 출력

저항 및 마력 추정 프로그램

- 문제의 제시(1)

입력 값

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



출력 값

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

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

저항 및 마력 추정 프로그램

- 문제의 제시(2)

■ 고려 사항

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

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

■ 프로그램 Specification

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

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

저항 및 마력 추정 프로그램

- 참고 사항(1)

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

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

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

저항 및 마력 추정 프로그램

- 참고 사항(2)

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

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

■ float와 double의 구분

- 실수형 변수는 float과 double의 두 가지 형태가 존재하는데, 보다 정확한 계산을 위해서 double을 사용할 것을 권장. 혼용할 경우 결과 값에 약간의 차이가 날 수 있다.

■ double 형태의 변수를 제공하기 위해서는 pow() 함수를 쓴다.

- Double 형태의 변수인 경우 v^2 을 계산하기 위해 “pow(V, 2.0)”로 작성
- pow() 함수를 쓰기 위해서는 “math.h”를 반드시 include해야 한다.

■ Holtrop & Mennen 방법에 대한 참고

- 일반적으로 w , t , η_R 은 기준선의 자료를 가져다 쓰며, η_o 는 프로펠러 최적화 과정에서 얻은 값을 쓴다.

저항 및 마력 추정 프로그램

- Input Data의 입력(1)

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

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

■ Input File의 작성

주어진 데이터

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



Input File: "input.txt"

278,000_DWT_VLCC
320.6
315.0
57.2

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

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

저항 및 마력 추정 프로그램

- Input Data의 입력(2)

■ 입력 함수의 정의

```

main.cpp
#include <stdio.h>

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

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

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

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

    // File을 닫음
    fclose(fp);
}

```

FILE* fp;

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

저항 및 마력 추정 프로그램

- Input Data의 입력(3)

■ 입력 함수의 정의

```

main.cpp
#include <stdio.h>

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

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

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

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

    // File을 닫음
    fclose(fp);
}

```

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

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

fp	Input.txt
	278,000_DWT_VLCC
	320.6
	315.0
	57.2

저항 및 마력 추정 프로그램

- Input Data의 입력(4)

■ 입력 함수의 정의

```

main.cpp
#include <stdio.h>

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

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

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

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

    // File을 닫음
    fclose(fp);
}

```

Char Name[255];

double Lwl, L, B;

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

fp	Input.txt
	278,000_DWT_VLCC
	320.6
	315.0
	57.2

저항 및 마력 추정 프로그램

- Input Data의 입력(5)

■ 입력 함수의 정의

```

main.cpp
#include <stdio.h>

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

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

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

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

    // File을 닫음
    fclose(fp);
}

```

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

- 파일로부터 문자열을 입력 받아 Name에 저장

fp

Input.txt

```

278,000_DWT_VLCC
320.6
315.0
57.2

```

Name이라는 이름의 저장 공간

278,000_DWT_VLCC

저항 및 마력 추정 프로그램

- Input Data의 입력(6)

■ 입력 함수의 정의

```

main.cpp
#include <stdio.h>

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

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

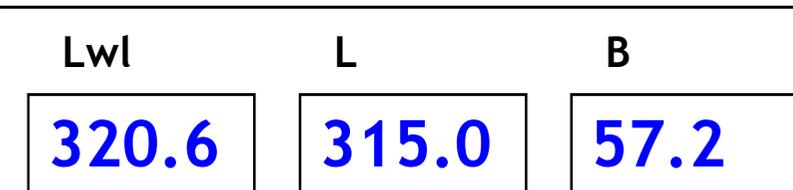
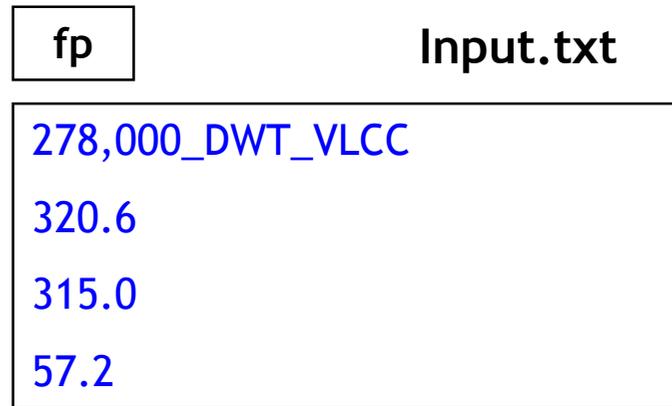
    // 변수의 선언
    char Name[255];
    double Lwl, L, B;

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

    // File을 닫음
    fclose(fp);
}
    
```

```

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



저항 및 마력 추정 프로그램

- 클래스의 정의(1)

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

마력 주기관	저항 및 마력 추정
	프로펠러 주요 치수
	주기관 선정

■ 멤버 변수의 선언

```

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

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

• 저항 및 마력 추정을 위한 변수를 선언한다.

저항 및 마력 추정 프로그램

- 클래스의 정의(2)

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

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

■ 계산 과정의 모듈화

저항 및 마력 추정을 위한 계산 식

함수의 선언



저항 및 마력 추정 프로그램

- 클래스의 정의(3)

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

마력 주기관	저항 및 마력 추정
	프로펠러 주요 치수
	주기관 선정

■ 멤버 함수의 선언

Ship.h

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

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

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

Ship.cpp

```
#include "Ship.h"

Ship::Ship()
{
}

Ship::~Ship()
{
}

void Ship::Calculate_Rf()
{
}

void Ship::Calculate_Rapp()
{
}

void Ship::Calculate_Rw()
{
}

void Ship::Calculate_Rb()
{
}

// 이하 생략
```

저항 및 마력 추정 프로그램

- 함수의 구현(1)

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

마력 주기관	저항 및 마력 추정
	프로펠러 주요 치수
	주기관 선정

■ 마찰 저항 계산 함수

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

$$\rho = 1.025$$

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

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

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

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

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

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

저항 및 마력 추정 프로그램

- 함수의 구현(2)

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

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

■ 선체 부가물 저항 계산 함수

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

$$k_2 = 0.4$$

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

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

저항 및 마력 추정 프로그램

- 함수의 구현(3)

■ 수면 가까이에 있는 Bulb에 의한 조파 저항 계산 함수

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

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

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

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

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

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

저항 및 마력 추정 프로그램

- 생성자(1)

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

마력 주기관	저항 및 마력 추정
	프로펠러 주요 치수
	주기관 선정

■ 생성자

Ship.h

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

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

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

Ship.cpp

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

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

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

저항 및 마력 추정 프로그램

- 생성자(2)

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

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

■ 생성자

Main.cpp

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

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



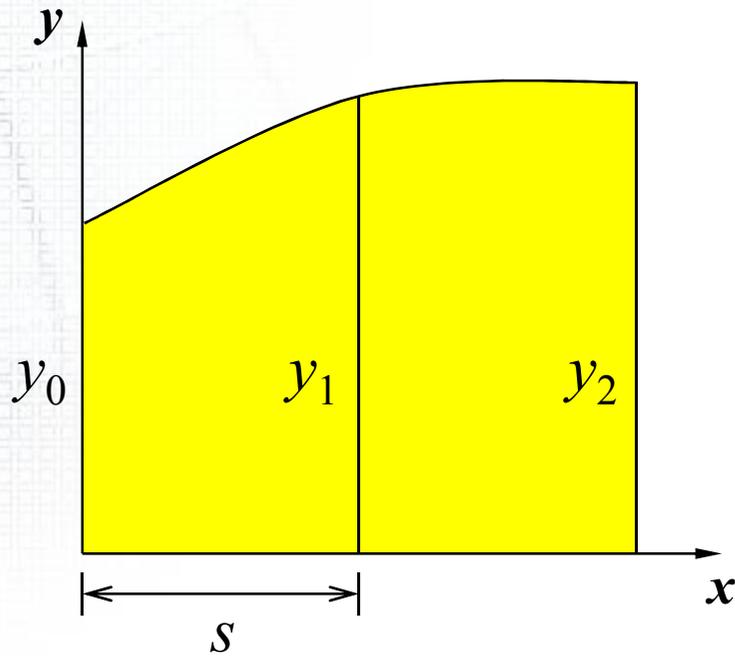
Supplementary Slides

Advanced
Ship
Design
Automation
Laboratory

면적 적분

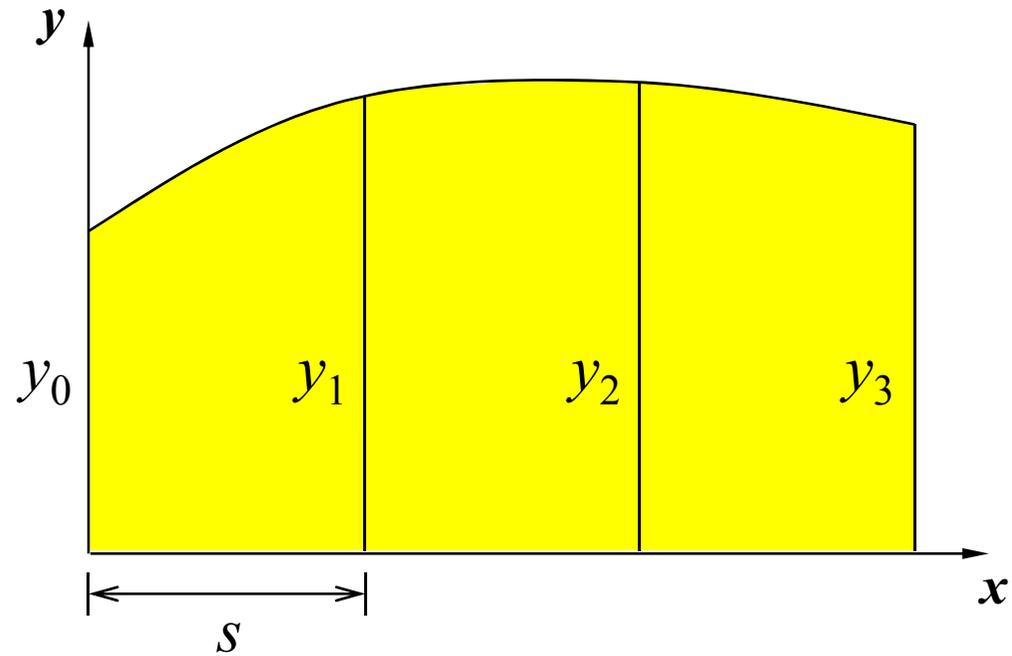
Simpson 제 1, 2법칙

Simpson 제 1법칙



$$Area = \frac{1}{3} s (y_0 + 4y_1 + y_2)$$

Simpson 제 2법칙

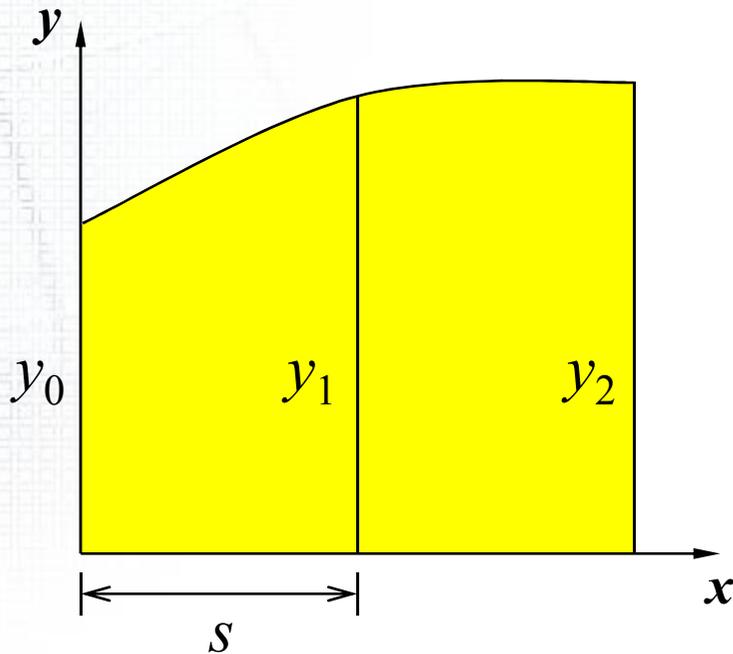


$$Area = \frac{3}{8} s (y_0 + 3y_1 + 3y_2 + y_3)$$

면적 적분

5·8·-1 법칙과 3·10·-1 법칙

5·8·-1 법칙



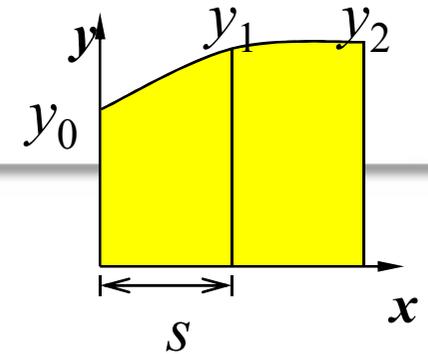
$$Area = \frac{1}{12} s(5y_0 + 8y_1 - 1y_2)$$

3·10·-1 법칙

$$M_y = \frac{1}{24} s^2 (3y_0 + 10y_1 - 1y_2)$$

$$I_y = \frac{1}{120} s^3 (7y_0 + 36y_1 - 3y_2)$$

Simpson 제 1 법칙의 유도(1)



Simpson 제 1 법칙 :

등간격 s 로 나뉜 3 개의 세로선 y_0, y_1, y_2 를 지나는 곡선을 2차 포물선이라고 가정하여 면적을 구하는 방법

$$\text{포물선 : } y = a_0 + a_1x + a_2x^2$$

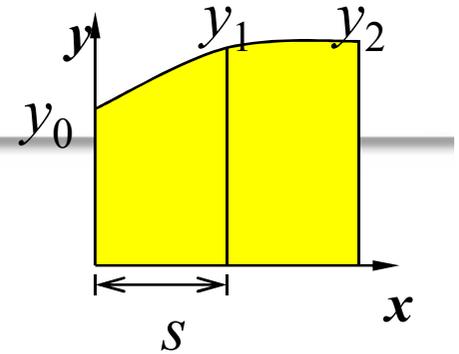
계수와 y_0, y_1, y_2 의 관계식

$$x = 0 : y_0 = a_0$$

$$x = s : y_1 = a_0 + a_1s + a_2s^2$$

$$x = 2s : y_2 = a_0 + 2a_1s + 4a_2s^2$$

Simpson 제 1 법칙의 유도(2)



$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2$$

$$y_0 = a_0 \quad \textcircled{1}$$

$$y_1 = a_0 + a_1s + a_2s^2$$

$$y_2 = a_0 + 2a_1s + 4a_2s^2$$

$$a_1s + a_2s^2 + y_0 - y_1 = 0 \quad \textcircled{2}$$

$$2a_1s + 4a_2s^2 + y_0 - y_2 = 0 \quad \textcircled{3}$$

$$4 \times \textcircled{2} - \textcircled{3} :$$

$$2a_1s + 3y_0 - 4y_1 + y_2 = 0$$

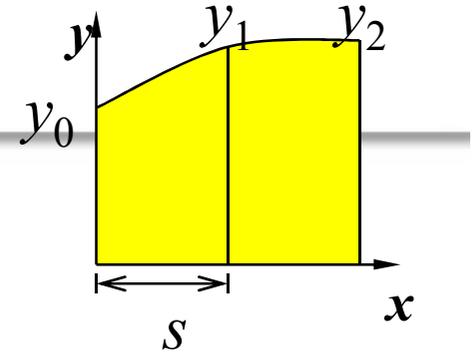
$$\therefore a_1 = \frac{1}{2s} (-3y_0 + 4y_1 - y_2)$$

$$\textcircled{3} - 2 \times \textcircled{2} :$$

$$2a_2s^2 - y_0 + 2y_1 - y_2 = 0$$

$$\therefore a_2 = \frac{1}{2s^2} (y_0 - 2y_1 + y_2)$$

Simpson 제 1 법칙의 유도(3)



$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2$$

$$a_0 = y_0, \quad a_1 = \frac{1}{2s}(-3y_0 + 4y_1 - y_2), \quad a_2 = \frac{1}{2s^2}(y_0 - 2y_1 + y_2)$$

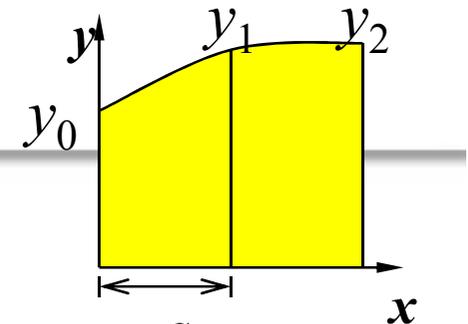
$$y = y_0 + \frac{1}{2s}(-3y_0 + 4y_1 - y_2)x + \frac{1}{2s^2}(y_0 - 2y_1 + y_2)x^2$$

면적 A (y를 0부터 2s까지 적분)

$$A = \int_0^{2s} y dx$$

$$= \int_0^{2s} y_0 + \frac{1}{2s}(-3y_0 + 4y_1 - y_2)x + \frac{1}{2s^2}(y_0 - 2y_1 + y_2)x^2 dx$$

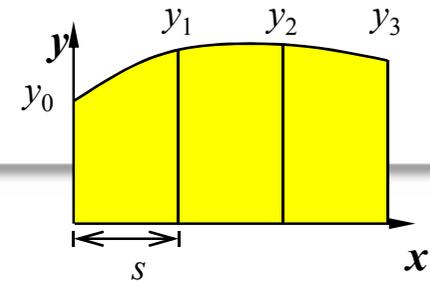
Simpson 제 1 법칙의 유도(4)



$$\begin{aligned} A &= \int_0^{2s} \left(y_0 + \frac{1}{2s}(-3y_0 + 4y_1 - y_2)x + \frac{1}{2s^2}(y_0 - 2y_1 + y_2)x^2 \right) dx \\ &= y_0 x + \frac{1}{4s}(-3y_0 + 4y_1 - y_2)x^2 + \frac{1}{6s^2}(y_0 - 2y_1 + y_2)x^3 \Big|_0^{2s} \\ &= y_0(2s) + \frac{1}{4s}(-3y_0 + 4y_1 - y_2)(2s)^2 + \frac{1}{6s^2}(y_0 - 2y_1 + y_2)(2s)^3 \\ &= 2y_0s + (-3y_0 + 4y_1 - y_2)s + \frac{4}{3}(y_0 - 2y_1 + y_2)s \end{aligned}$$

$$\therefore A = \frac{s}{3}(1y_0 + 4y_1 + 1y_2)$$

Simpson 제 2 법칙의 유도(1)



Simpson 제 2 법칙 :

등간격 s 로 나뉜 4 개의 세로선 y_0, y_1, y_2, y_3 를 지나는 곡선을 3차 곡선이라고 가정하여 면적을 구하는 방법

$$\text{3차곡선 : } y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3$$

계수와 y_0, y_1, y_2, y_3 의 관계식

$$x = 0 : y_0 = a_0$$

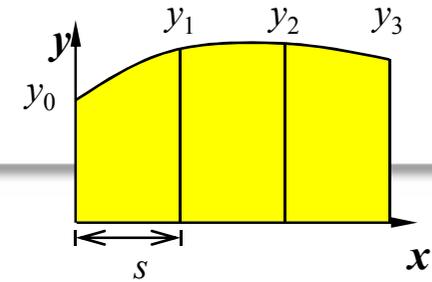
$$x = s : y_1 = a_0 + a_1s + a_2s^2 + a_3s^3$$

$$x = 2s : y_2 = a_0 + 2a_1s + 4a_2s^2 + 8a_3s^3$$

$$x = 3s : y_3 = a_0 + 3a_1s + 9a_2s^2 + 27a_3s^3$$

Simpson 제 2 법칙의 유도(2)

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3$$



$$y_0 = a_0,$$

$$y_1 = a_0 + a_1s + a_2s^2 + a_3s^3,$$

$$y_2 = a_0 + 2a_1s + 4a_2s^2 + 8s^3, \quad y_3 = a_0 + 3a_1s + 9a_2s^2 + 27s^3$$

위 연립방정식의 미지수 a_0, a_1, a_2, a_3 계산

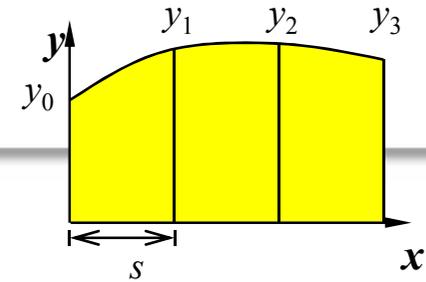
$$a_0 = y_0$$

$$a_1 = \frac{1}{6s} (-11y_0 + 18y_1 - 9y_2 + 2y_3)$$

$$a_2 = \frac{1}{2s^2} (2y_0 - 5y_1 + 4y_2 - y_3)$$

$$a_3 = \frac{1}{6s^3} (-y_0 + 3y_1 - 3y_2 + y_3)$$

Simpson 제 2 법칙의 유도(3)



$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3$$

$$a_0 = y_0,$$

$$a_1 = \frac{1}{6s}(-11y_0 + 18y_1 - 9y_2 + 2y_3),$$

$$a_2 = \frac{1}{2s^2}(2y_0 - 5y_1 + 4y_2 - y_3), \quad a_3 = \frac{1}{6s^3}(-y_0 + 3y_1 - 3y_2 + y_3)$$

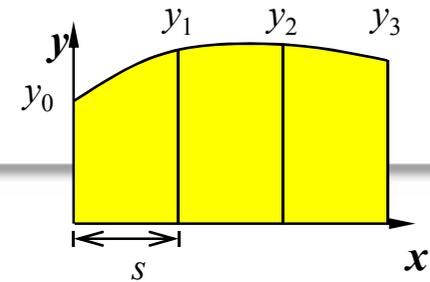
면적 A (y를 0부터 3s까지 적분)

$$A = \int_0^{3s} y dx = \int_0^{3s} (a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3) dx$$

$$= a_0x + \frac{a_1}{2}x^2 + \frac{a_2}{3}x^3 + \frac{a_3}{4}x^4 \Big|_0^{3s}$$

$$= 3a_0s + \frac{9}{2}a_1s^2 + \frac{27}{3}a_2s^3 + \frac{81}{4}a_3s^4$$

Simpson 제 2 법칙의 유도(4)



$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3$$

$$a_0 = y_0,$$

$$a_1 = \frac{1}{6s}(-11y_0 + 18y_1 - 9y_2 + 2y_3),$$

$$a_2 = \frac{1}{2s^2}(2y_0 - 5y_1 + 4y_2 - y_3), \quad a_3 = \frac{1}{6s^3}(-y_0 + 3y_1 - 3y_2 + y_3)$$

$$A = 3a_0s + \frac{9}{2}a_1s^2 + \frac{27}{3}a_2s^3 + \frac{81}{4}a_3s^4$$

a_0, a_1, a_2, a_3 를 대입하여 정리

$$A = 3y_0s + \frac{9}{2} \cdot \frac{1}{6s}(-11y_0 + 18y_1 - 9y_2 + 2y_3)s^2$$

$$+ \frac{27}{3} \cdot \frac{1}{2s^2}(2y_0 - 5y_1 + 4y_2 - y_3)s^3 + \frac{81}{4} \cdot \frac{1}{6s^3}(-y_0 + 3y_1 - 3y_2 + y_3)s^4$$

$$\therefore A = \frac{3}{8}s(y_0 + 3y_1 + 3y_2 + y_3)$$