[2008][05-1]

Computer aided ship design

Part 1. Curve & Surface

October 2008

Prof. Kyu-Yeul Lee

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

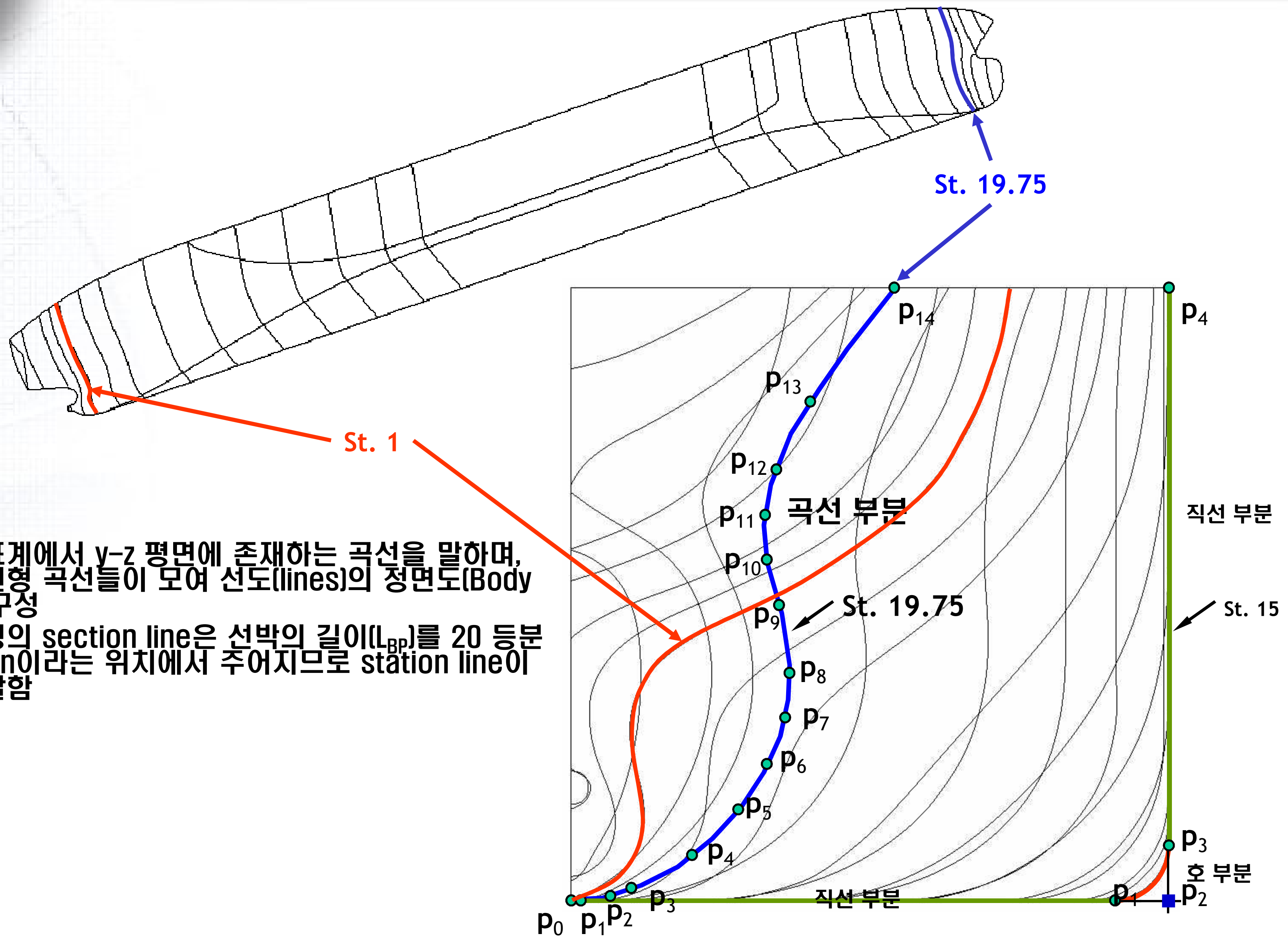
Advanced
Ship
Design
Automation
Laboratory

Hull Form Variation
(선형 변환)

서울대학교 조선해양공학과
이규열

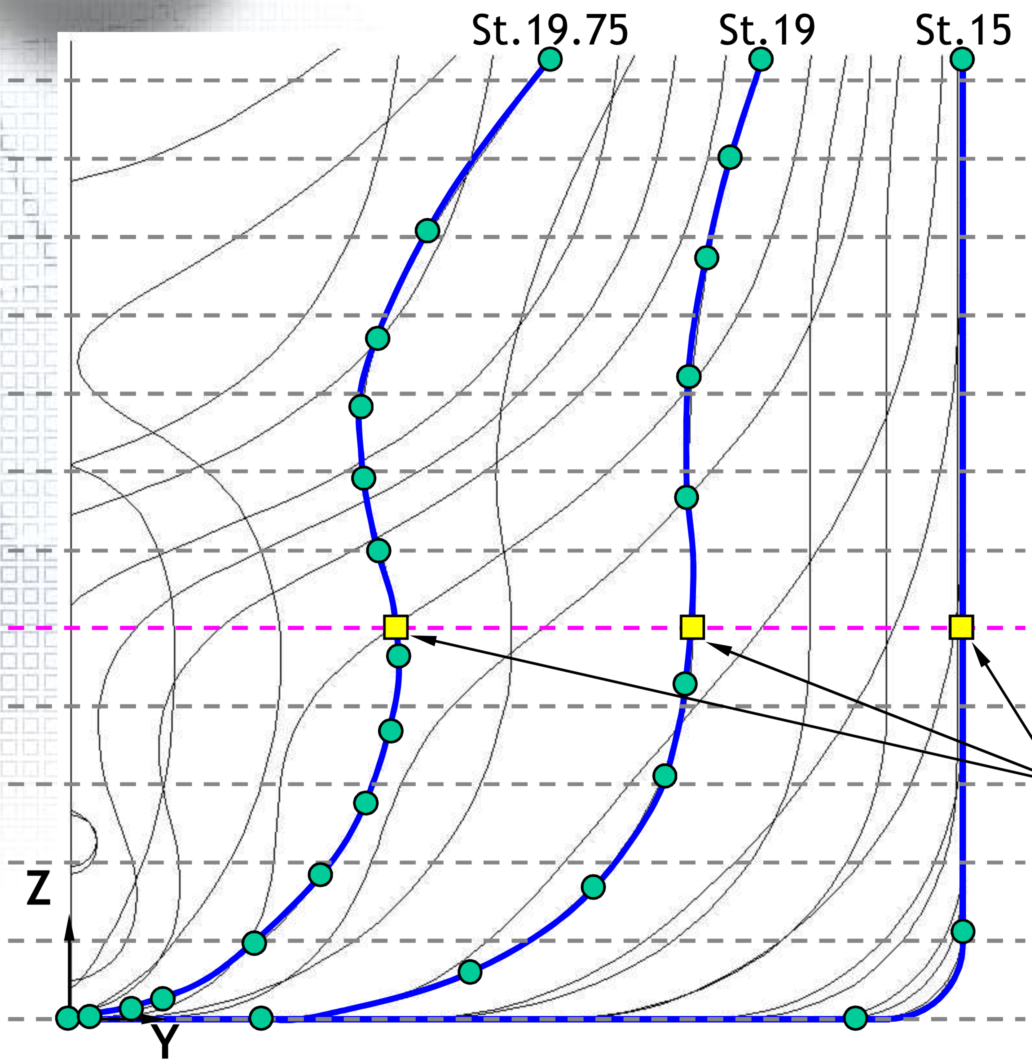
Advanced
Ship
Design
Automation
Laboratory

1.1.1 선형 표현을 위한 주요 곡선들 – Section Line



- 선형 좌표계에서 y-z 평면에 존재하는 곡선을 말하며, 이러한 선형 곡선들이 모여 선도(lines)의 정면도(Body Plan)를 구성
- 보통 선형의 section line은 선박의 길이(L_{BP})를 20 등분한 station이라는 위치에서 주어지므로 station line이라고도 말함

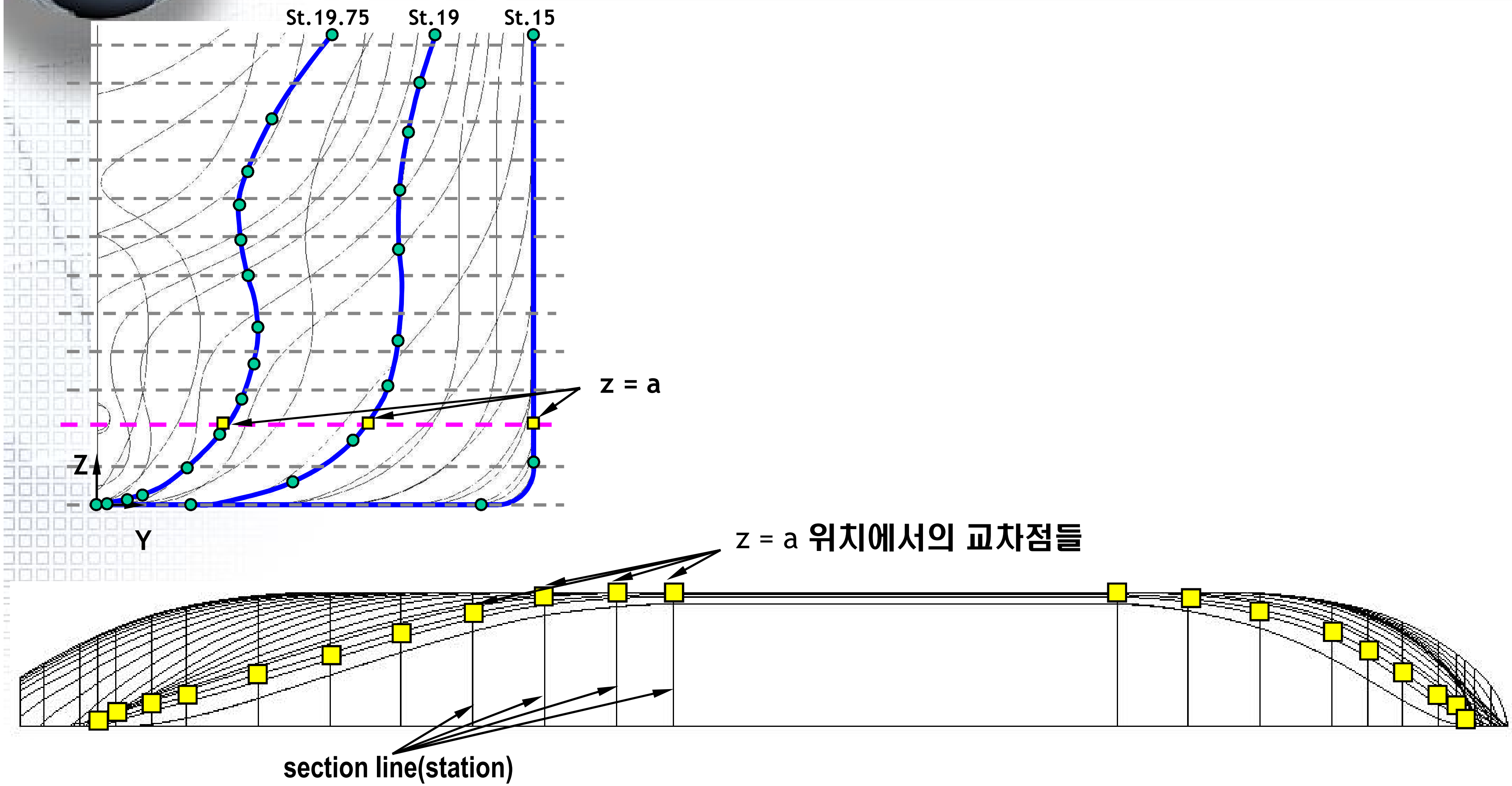
1.1.2 선형 표현을 위한 주요 곡선들 – Water Line 생성 (1)



➡ z = a 평면과 주요 곡선 및 모든 section line들과의 교차 계산을 통해 waterline 생성

z = a에서의 waterline 생성을 위한 교차점

1.1.2 선형 표현을 위한 주요 곡선들 – Water Line 생성 (2)

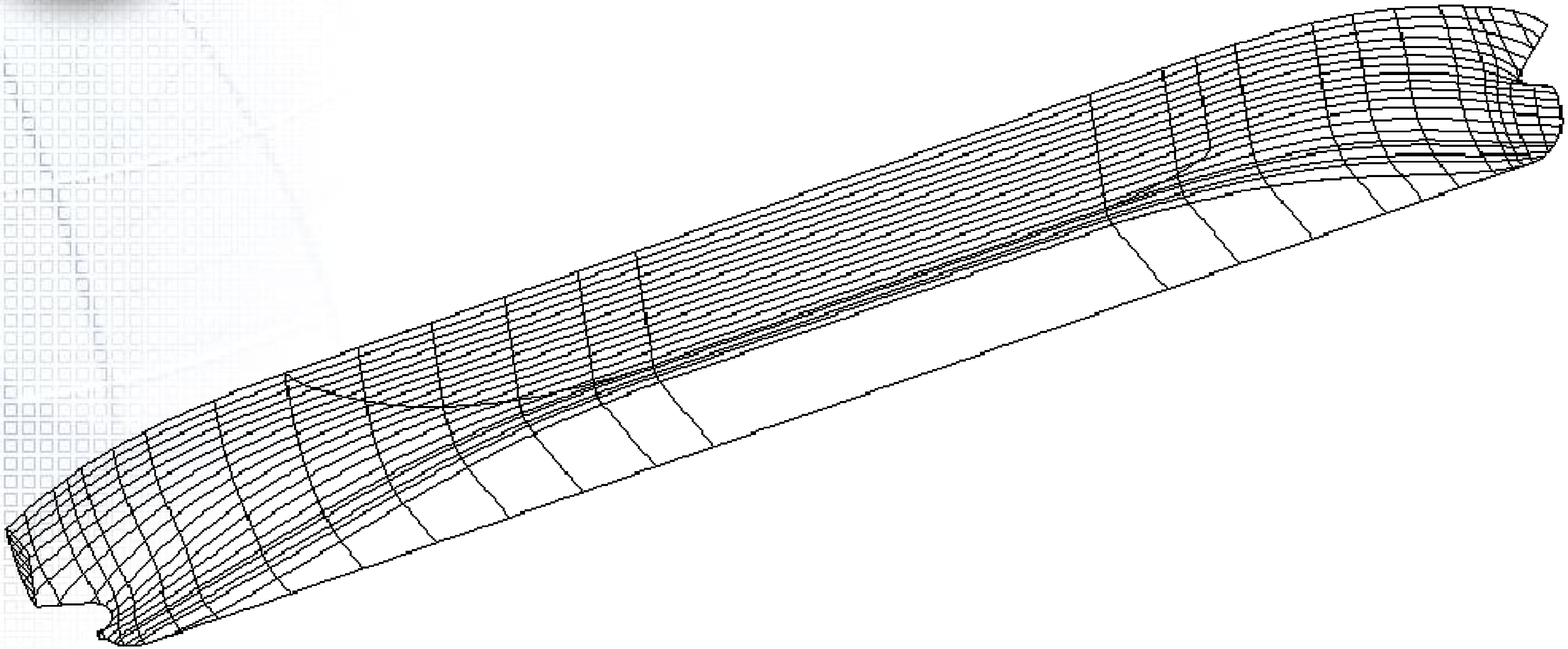


z = a 위치에서의 모든 교차점들을 NURB 곡선을 이용하여 보간(fitting)
➡ z = a에서의 waterline 생성

➡ Waterline 생성

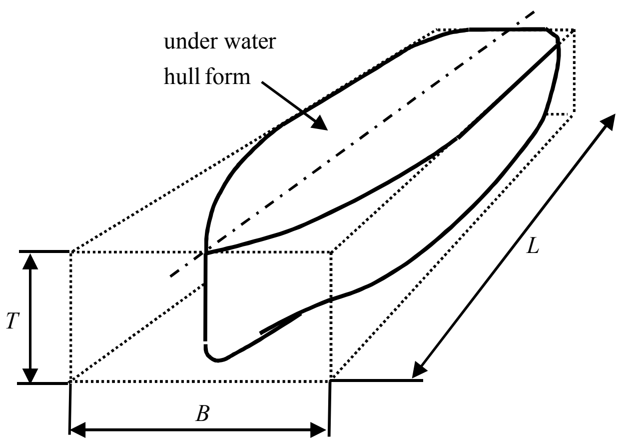
원하는 z 위치에 대해 위 과정을 반복 수행

1.1.2 선형 표현을 위한 주요 곡선들 – Water Line 생성 (3)



선형의 특성
– C_B(Block coeff.)와 C_P(Prismatic coeff.)

C_B (Block coefficient, **방형계수**)



$$C_B = \frac{\nabla}{L \cdot B \cdot T}$$

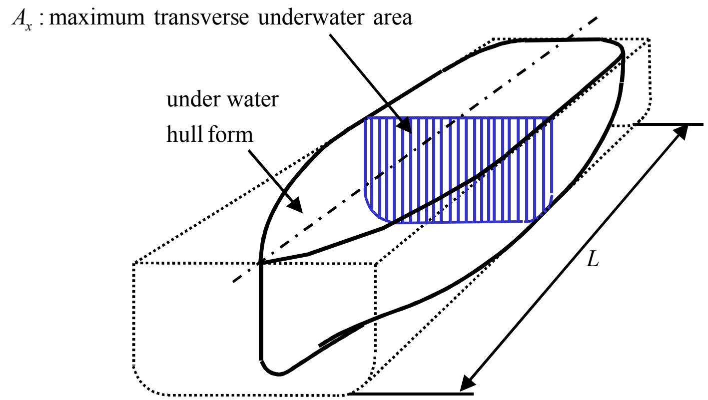
∇ = 형배수용적
(moulded volumd of displacement)

L = 선박의 길이(LWL or LBP)

B = 형폭

T = 형흘수

C_P (Prismatic coefficient, **주형계수**)



$$C_P = \frac{\nabla}{L \cdot A_M} = \frac{C_B}{C_M}$$

∇ = 형배수용적
(moulded volumd of displacement)

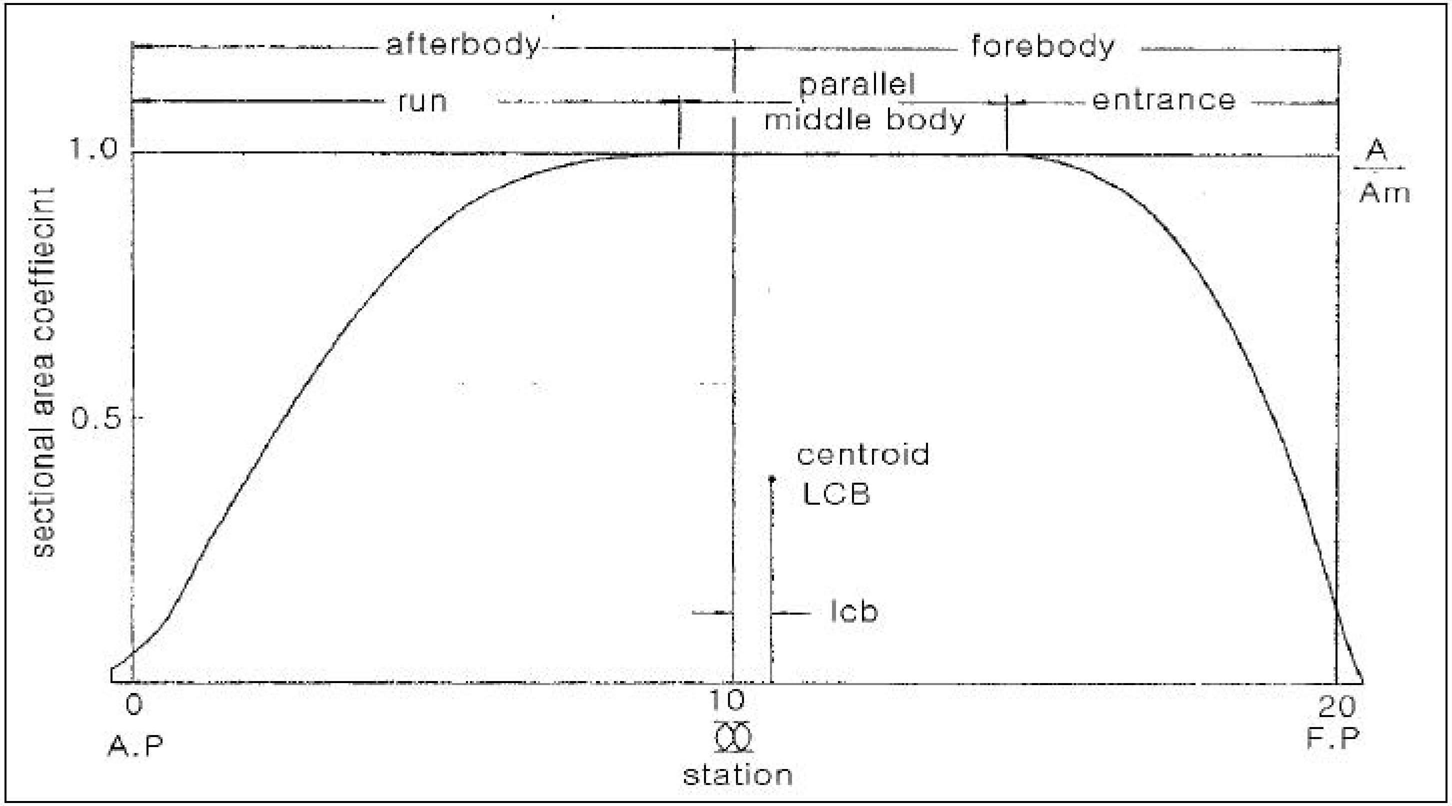
L = 선박의 길이(LWL or LBP)

A_M = 선체 중앙에서의 횡단면적

C_M =중앙단면계수(midship coefficient)

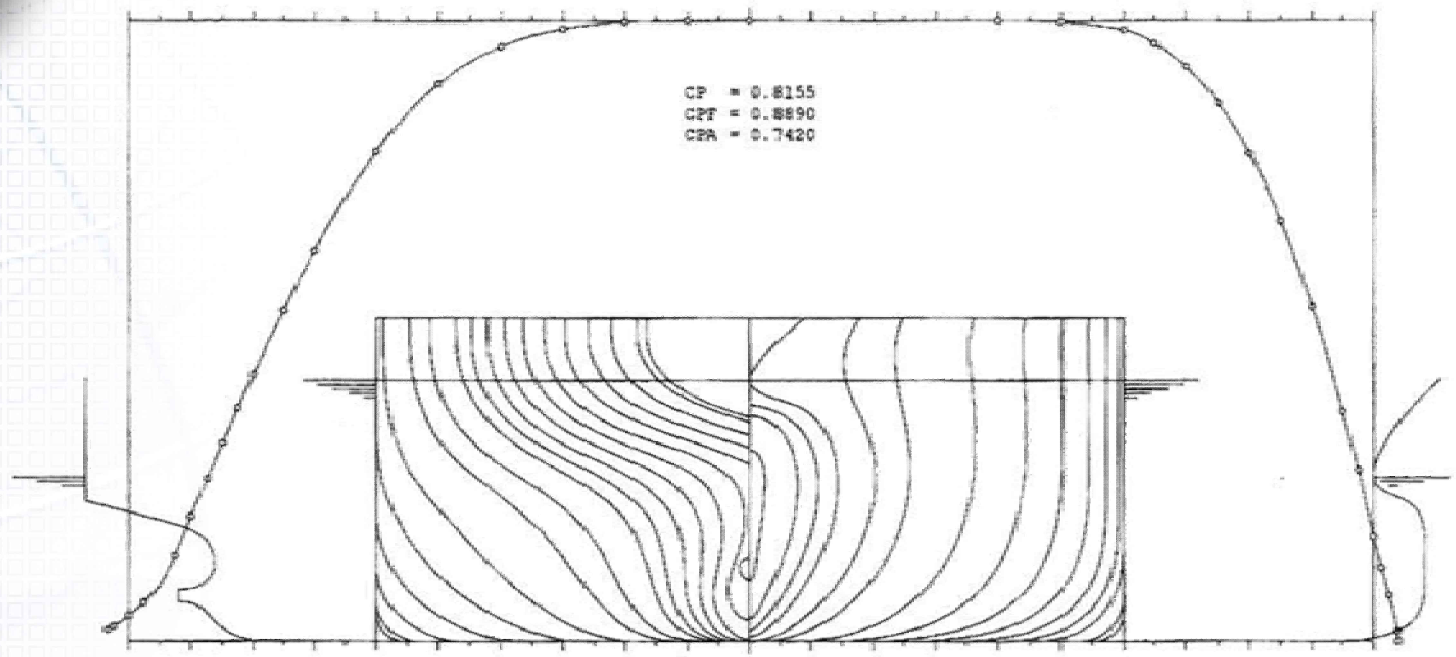
선형의 특성
- 길이 방향의 배수량 분포(C_p-curve)

- 선체 중앙에서의 횡단면적을 1로 두었을 때, 길이방향으로 횡단면적의 크기를 plotting한 curve.
- 단면적 곡선 및 LCB로 대표되는 배 길이 방향으로의 배수량 분포를 나타냄



단면적 곡선(Section area curve or C_P-curve) **및** LCB

주요 선종별 Cp Curve
- VLCC(Very Large Crude oil Carrier)



LBP 320m	L/B 5.3	CB 0.81
B 60m	B/T 2.85	LCB 3.4%
T 21m	Fn 0.147	CM 0.998
BL 7.5m (2.3%L)	Bulb Area 16.7% AM	

(BL: Bulb length)

참고문헌: 2004 선박설계 연구회 특별공개강좌

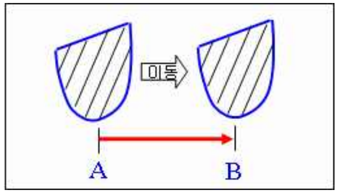
선형 변환 방법- C_p Variation 방법

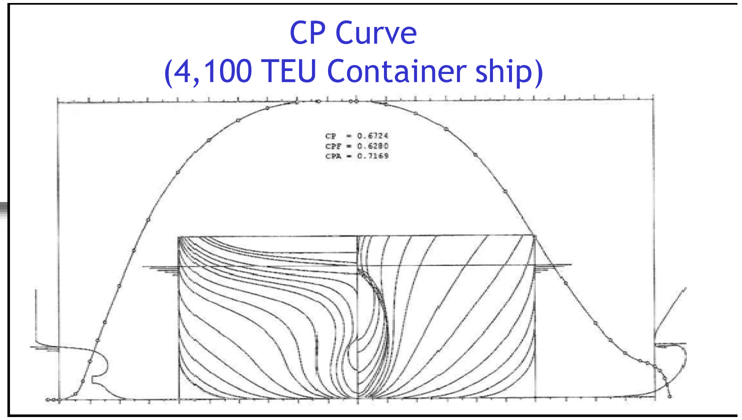
- 조선소에서는 우수한 유사 실적선 선형을 선정하여, 설계선의 주요치수에 맞도록 변환(Variation)하여 선형 설계를 수행함
  → 기준선 선형의 유체역학적 특성을 살릴 수 있음

- C_p Variation 방법 :
  기존선형의 횡단면 형상의 모양을 그대로 유지하면서 단지 길이방향으로 그 횡단면 형상을 이동하여 수선면 아래의 배수량과 배수량 중심의 길이 방향 위치(LCB)를 변경

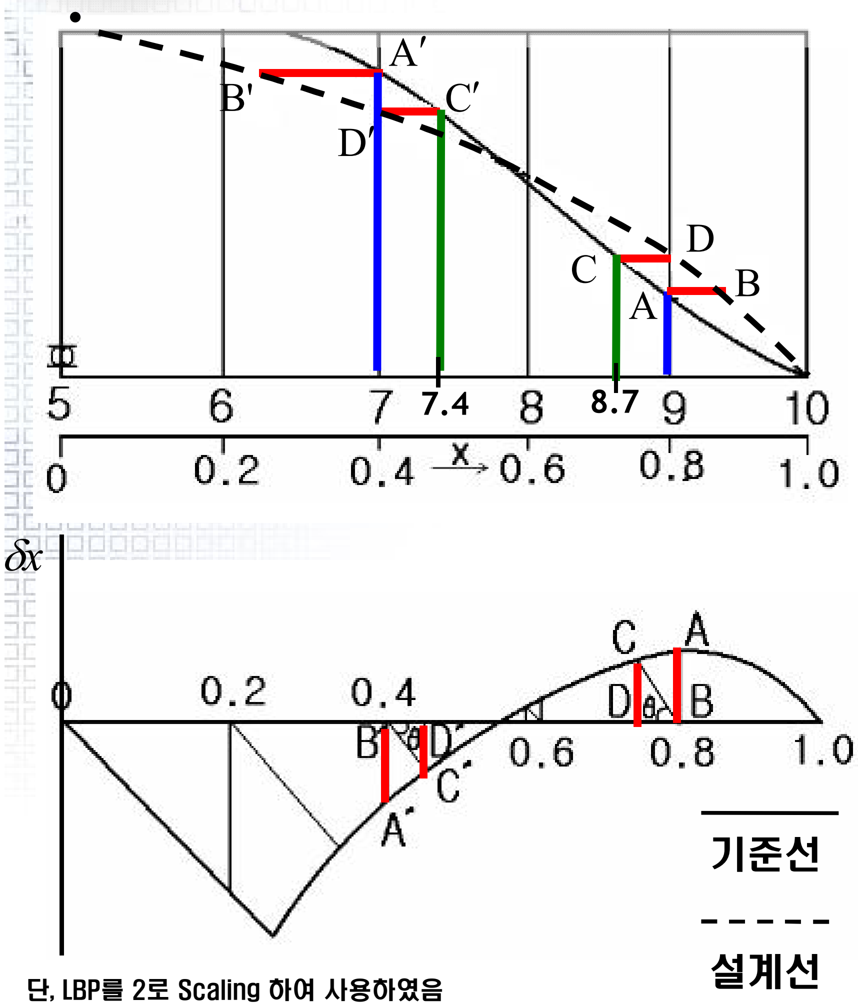
  - 1-C_p 변환방법
  - Lackenby 선형 Variation 방법
  - Swing method
  - Weighted modified swing method

선형 변환 방법 – Cp Variation





- 기준 선형의 횡단면 형상의 모양을
- 그대로 유지하면서 단지 길이방향으로 그 횡단면 형상을 이동함
-



단, LBP를 2로 Scaling 하여 사용하였음
(Midship에서 부터 ±1)

①기준선의 station 9 (x=0.8)에 위치한 횡단면 형상
→ 설계선의 경우, 예로서 기준선의 station 9로부터 AB만큼 이동함.

② 설계선의 station 9 은 기준선의 station 약 8.7의 값을 가져옴.

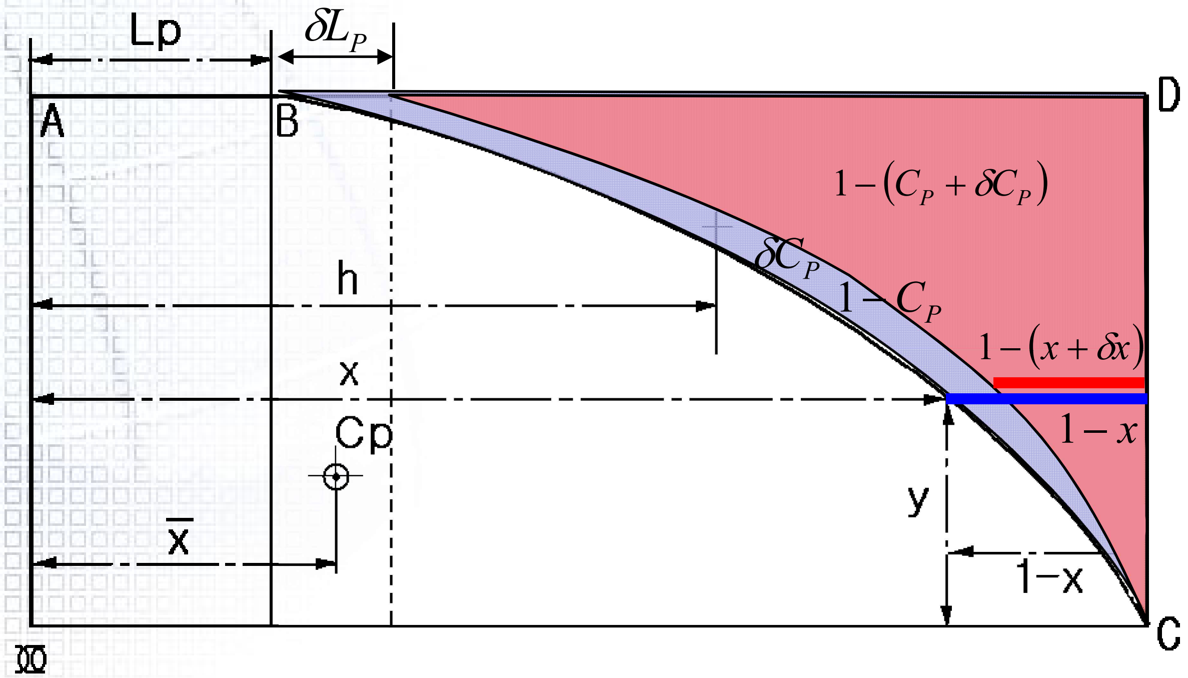
③ 기준선의 station 7(x=0.4)에 위치한 횡단면 형상
→ 설계선의 경우, 예로서 기준선의 station 7로 부터 A'B'만큼 이동함.

④ 설계선의 station 7 은 기준선의 station 약 7.4의 값을 가져옴.

선형 변환 방법
"1−C_P" Variation 방법

참고 문헌: Lackenby, On The Systematic Geometrical Variation of ship forms, 1950, RINA , p.290

Given : 전반부, 후반부의 $C_{P_{a,f}}$, $\delta C_{P_{a,f}}$
Find : $\delta x_{a,f}$



$C_P = C_b / C_m$

✓ Assumption : "기준선의 횡단면의 길이방향 위치(1-x)와 변환된 선박의 횡단면의 길이방향 위치 1-(x+δx)의 비는 기준선의 (1-C_P)와 변환된 선박의 1-(C_P+δC_P)의 비와 같다"

$$1-\left(x_{f,a}+\delta x_{f,a}\right):1-x_{f,a}$$
$$=1-\left(C_{P_{f,a}}+\delta C_{P_{f,a}}\right):1-C_{P_{f,a}}$$

$$\delta x_{f,a} = \frac{\delta C_{P_{f,a}}}{1-C_{P_{f,a}}}\left(1-x_{f,a}\right)$$

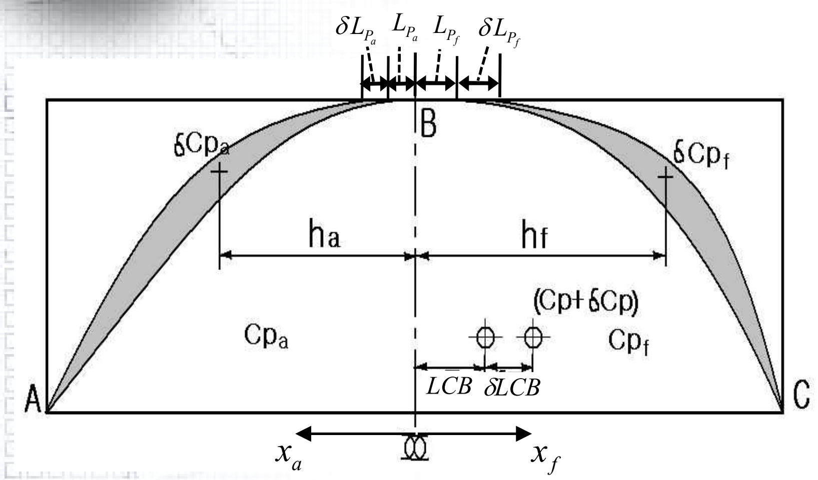
: "1-Cp"변환 방법

δC_p : C_p의 변화량
x : Midship으로부터 임의의 횡단면까지의 거리
δx : *Midship*으로부터 거리 x에 위치한 횡단면이 이동한 거리, 즉, δC_p를 만족하는 횡단면의 이동 거리
h : *Midship*으로부터 δC_p의 중심까지의 거리

L_p :Parallel Middle Body (횡단면적이 같은 부분의 선박의 길이)
δL_p : L_p의 변화량
$\overline{x}$:Midship으로부터 반폭선형의 도심까지의 거리
y : x에 위치한 횡단면의 면적비, 이때 면적비은 중앙부 횡단면적으로 나눈 값

선형 변환 방법
"1-C_p" Variation 방법

참고 문헌: Lackenby, On The Systematic Geometrical Variation of ship forms, 1950, RINA , p.295



x_a, x_f의 부호는 Midship에서 멀어지는 방향을 + 로 한다.

$C_P = C_b / C_m$

δC_P : C_P의 변화량

x : Midship으로부터 임의의 횡단면까지의 거리

δx : Midship으로부터 거리 x에 위치한 횡단면이 이동한 거리,
즉, δC_P를 만족하는 횡단면의 이동 거리

h : Midship으로부터 δC_P의 중심까지의 거리

L_P :Parallel Middle Body (횡단면적이 같은 부분의 선박의 길이)

δL_P : L_P의 변화량

$\bar{x}$:Midship으로부터 반폭선형의 도심까지의 거리

y : x에 위치한 횡단면의 면적비, 이때 면적비은 중앙부 횡단면적으로 나눈 값

✓ "1-Cp"변환 방법

$$\delta x_{f,a} = \frac{\boxed{\delta C_{P_{f,a}}}}{1 - C_{P_{f,a}}}\left(1 - x_{f,a}\right)$$

$\delta C_{P_{f,a}}$ 는 어떻게 구할까?

방법 1. 계산식 사용

Given: C_P, δC_P, $\boxed{h_{a,f}}$, $\boxed{LCB}$, δLCB

Find: 전반부, 후반부 C_P 변화량 $\delta C_{P_{f,a}}$

$$\delta C_{Pf} = \frac{2\left[\delta C_P\left(h_a + LCB\right) + \delta LCB\left(C_P + \delta C_P\right)\right]}{h_f + h_a}$$

$$\delta C_{Pa} = \frac{2\left[\delta C_P\left(h_f - LCB\right) - \delta LCB\left(C_P + \delta C_P\right)\right]}{h_f + h_a}$$

LCB의 부호는 Midship에서 선수방향을 (+)로 두므로, 선미부 Cp변화량을 구할 때는 부호변환을 하여 사용한다.

❖ 위 사항에 대한 유도는 참고 문헌을 참고할 것

$h_{a,f}$ 계산식: ▷

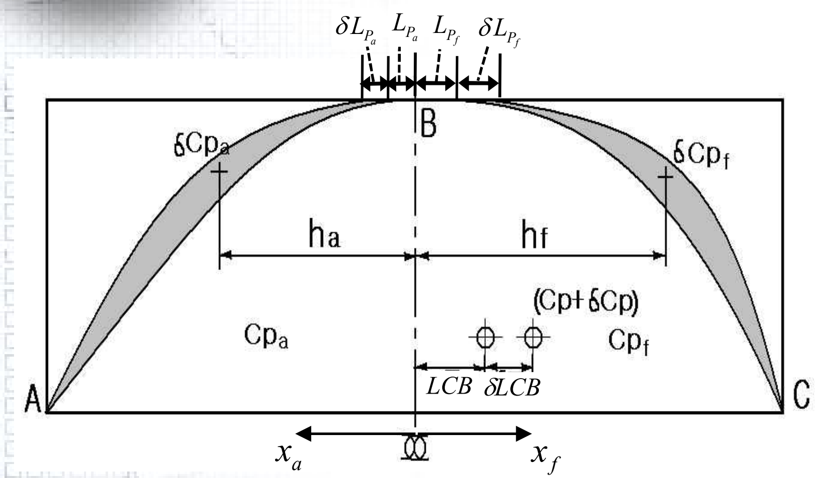
LCB 계산: ▷

선형 변환 방법
"1-C_p" Variation 방법

✓ "1-Cp"변환 방법

$$\delta x_{f,a} = \frac{\boxed{\delta C_{P_{f,a}}}}{1 - C_{P_{f,a}}}\left(1 - x_{f,a}\right)$$

$\delta C_{P_{f,a}}$ 는 어떻게 구할까?



x_a, x_f 의 부호는 Midship에서멀어지는방향을 + 로 한다.

$C_P = C_b / C_m$

δC_P : C_P의 변화량

x : Midship으로부터 임의의 횡단면까지의 거리

δx : *Midship*으로부터 거리 x에 위치한 횡단면이 이동한 거리,
  즉, δC_P를 만족하는 횡단면의 이동 거리

h : *Midship*으로부터 δC_P의 중심까지의 거리

L_P :Parallel Middle Body (횡단면적이 같은 부분의 선박의 길이)

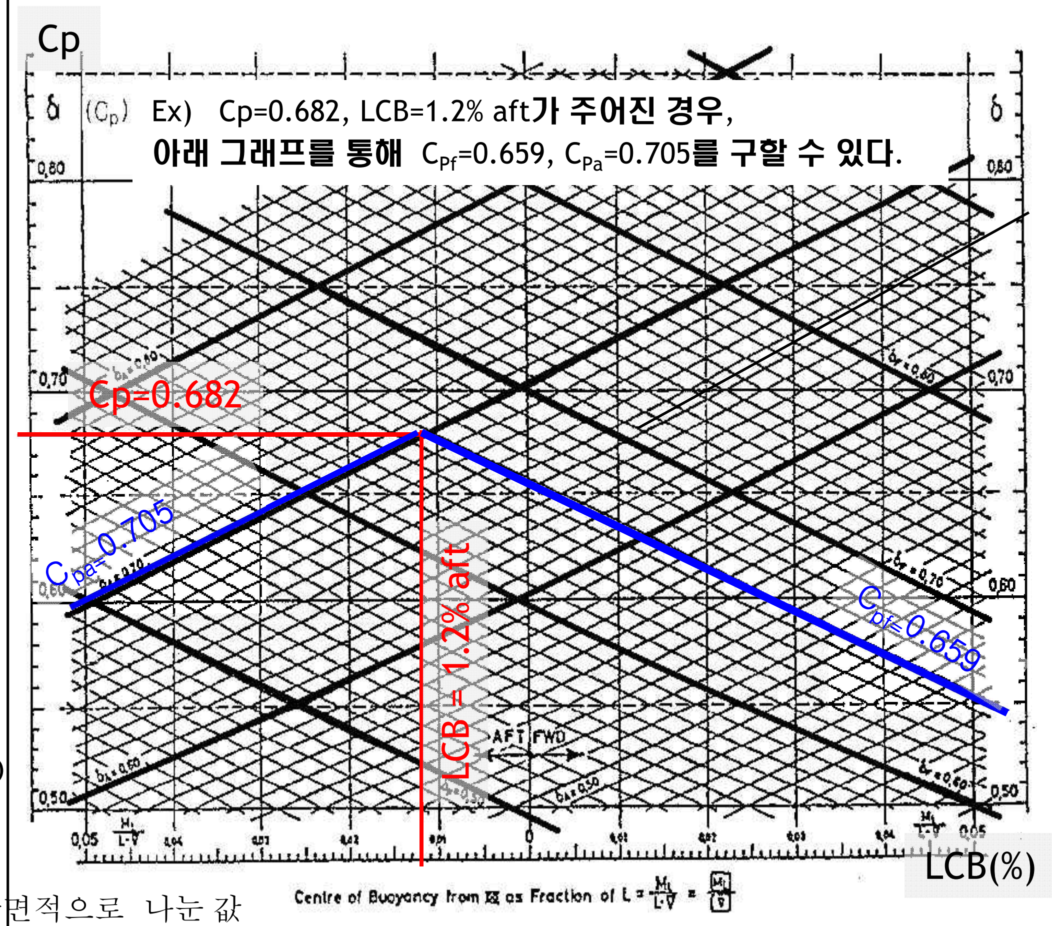
δL_P : L_P의 변화량

$\bar{x}$:Midship으로부터 반폭선형의 도심까지의 거리

y : x에 위치한 횡단면의 면적비, 이때 면적비은 중앙부 횡단면적으로 나눈 값

방법 2 통계적 방법 사용

Guldhammer의"Form Data IV"의 통계자료를 이용하여 C_P 와 LCB조건을 만족시키는 C_{P_a} 와 C_{P_f} 를 정한다.

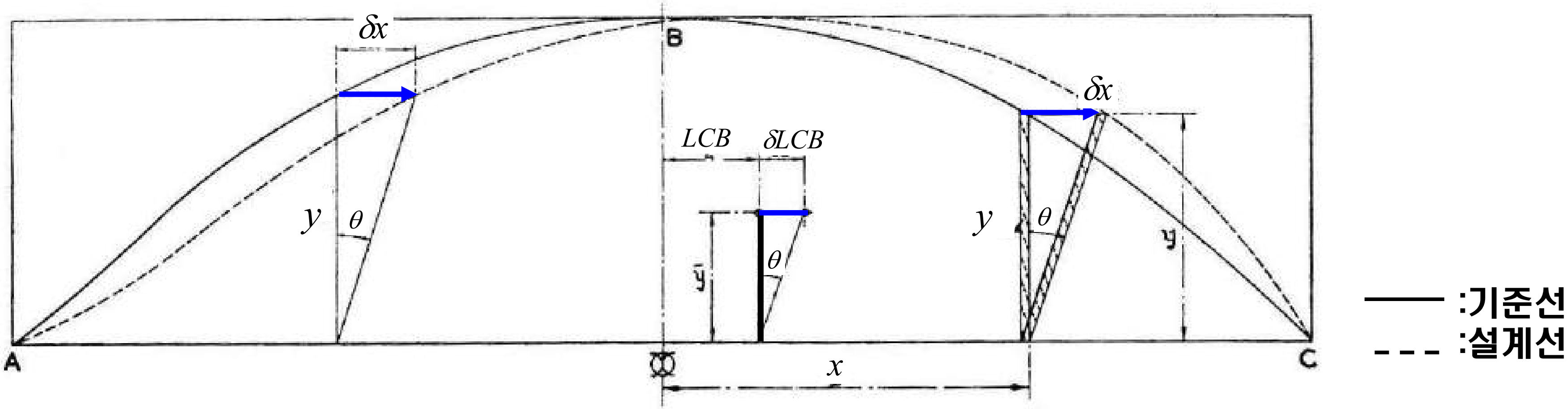


선형 변환 방법
"Swing station Method"

Swing station method: 횡단면 형상을 길이방향으로 'Shift' 시켜 LCB를 조정

→배수량의 변경 없이 LCB 만을 변경하고자 제안된 방법

기준선형의 단면을 단면적 곡선에서 수평으로 동일한 각도 θ 만큼을 이동량으로 취함



δLCB : the required change in LCB position

$\bar{y}$: the position of the vertical centroid of area above the base(VCB)

$$\bar{y} = \frac{\int_0^T z \cdot A_{wp}(z)dz}{\nabla}$$

→ $\bar{y}$:각 흘수에서의 수선면적을 높이 방향의 1차 모멘트를 구하고, 이를 배수용적으로 나누어 구함(KB, VCB) (단, 여기서는 Normalizing하여 사용함)

Given: $\delta LCB, \bar{y}, y$

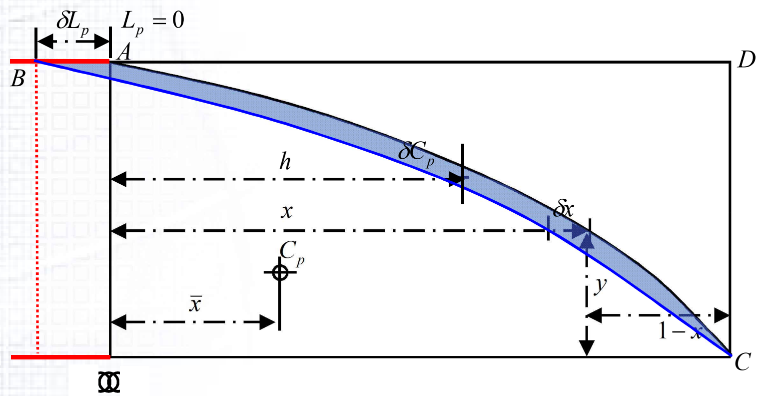
Find: δx

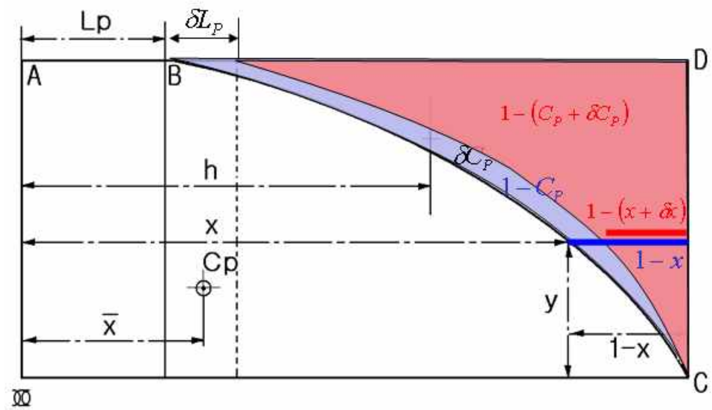
$$\tan\theta = \frac{\delta LCB}{\bar{y}} = \frac{\delta x}{y}$$

$$\boxed{\delta x = \frac{\delta LCB}{\bar{y}} \cdot y}$$

선형 변환 방법
"1-C_p" Variation 방법의 단점

(1) 배수량을 고정하면, 중앙평행부가 없는 선박의 경우에는 더 날씬한 선형 (C_p와 C_b가 작은 선형) 으로 변형시킬 수 없다.
(전반부 or 후반부 범위를 벗어남)





$$\delta x_{f,a} = \frac{\delta C_{P_{f,a}}}{1-C_{P_{f,a}}}\left(1-x_{f,a}\right) \qquad \delta L_{P_{f,a}} = \frac{\delta C_{P_{f,a}}}{1-C_{P_{f,a}}}\left(1-L_{P_{f,a}}\right)$$

$C_p = C_b / C_m$
L_p :Parallel Middle Body(횡단면적이 같은 부분의 선박의 길이)
x : Midship으로부터 임의의횡단면까지의 거리
$\bar{x}$:Midship으로부터 반폭선형의도심까지의거리
y : x에 위치한 횡단면의 면적비, 이때 면적비은 중앙부 횡단면적으로 나눈값

δC_p : C_p의 변화량
δL_p : L_p의 변화량
δx : Midship으로부터 거리 x에 위치한 횡단면이 이동한 거리,
즉, δC_p를 만족하는 횡단면의 이동거리
h : Midship으로부터 δC_p의 중심까지의 거리

(2) 기준선의 중앙평행부 길이를 변형시키고자 할 때는 L_p자체만 변형시킬 수 없고, C_p와 연결되어 변형된다. 즉, C_p와 L_p는 서로 독립적으로 변화시킬 수 없다.

(3) 배수량을 고정하면, 중앙평행부가 없는 선박의 경우에는 중앙평행부의 도입 없이 비대선형으로 변형시킬 수 없다. 즉, C_p를 변화시키고자 한다면 항상 중앙평행부의 길이도 비례하여 증가한다.

(4) 변형된 C_p곡선에서 배수량의 길이 방향 분포는 설계자에 의하여 임의로 제어할 수 없다.

선형 변환 방법

"Lackenby 방법" – General Case

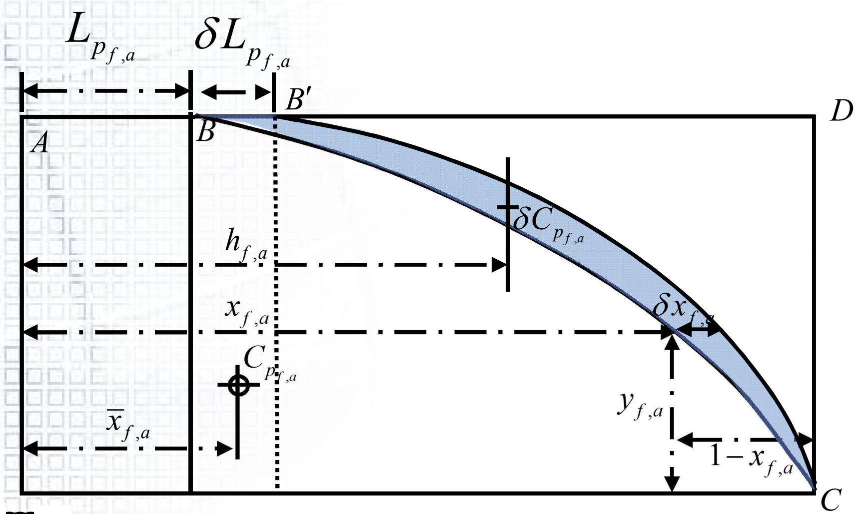
참고 문헌: Lackenby, On The Systematic Geometrical Variation of ship forms, 1950, RINA , p.294, 308

"1-Cp"방법

$$\delta x_{f,a} = \frac{\delta C_{P_{f,a}}}{1 - C_{P_{f,a}}}(1 - x_{f,a})$$

Given: $C_{P_{f,a}}, \delta C_{P_{f,a}}, L_{P_{f,a}}, \delta L_{P_{f,a}}, \bar{x}_{f,a}, x_{f,a}$

Find: $\delta x_{f,a}$



<General Case>

Basis Form: Any extent of parallel middle body

Derived From: Any required change in prismatic coefficient and extent of parallel middle body

①
$$\delta x_{f,a} = (1 - x_{f,a})\left\{\frac{\delta L_{P_{f,a}}}{1 - L_{P_{f,a}}} + \frac{x_{f,a} - L_{P_{f,a}}}{A_{f,a}}\left[\delta C_{P_{f,a}} - \delta L_{P_{f,a}}\frac{(1 - C_{P_{f,a}})}{(1 - L_{P_{f,a}})}\right]\right\}$$

$$,(A_{f,a} = C_{P_{f,a}}(1 - 2\bar{x}_{f,a}) - L_{P_{f,a}}(1 - C_{P_{f,a}}))$$

→ 식에 Parallel Middle Body의 변화 량($\delta L_{pf,a}$) 이 포함되어있음

<"Lackenby 방법"의 특징>

1) Parallel Middle Body($L_{pf,a}$)에 대한 조정을 할 수 있다.

2) 이동량 함수가 2차 곡선으로 주어져 다양한 형태의 이동량 곡선을 적용할 수 있다.

3) LCB의 변경에 대해 Forebody와 Afterbody의 Cp변경량을 추정할 수 있다.

$C_P = C_b / C_m$

δC_P : C_P의 변화량

x : Midship으로부터 임의의 횡단면까지의 거리

δx : Midship으로부터 거리 x에 위치한 횡단면이 이동한 거리, 즉, δC_P를 만족하는 횡단면의 이동 거리

h : Midship으로부터 δC_P의 중심까지의 거리

L_P :Parallel Middle Body (횡단면적이 같은 부분의 선박의 길이)

δL_P : L_P의 변화량

$\bar{x}$:Midship으로부터 반폭선형의 도심까지의 거리

y : x에 위치한 횡단면의 면적비, 이때 면적비은 중앙부 횡단면적으로 나눈 값

선형 변환 방법

참고 문헌: Lackenby, On The Systematic Geometrical Variation of ship forms, 1950, RINA , p.294,306,308,309

"Lackenby 방법" – General Case

① "Lackenby 방법" <General Case>

Given: $C_{P_{f,a}}, \delta C_{P_{f,a}}, L_{P_{f,a}}, \delta L_{P_{f,a}}, \bar{x}_{f,a}, x_{f,a}$

Find: $\delta x_{f,a}$

$$\delta x_{f,a} = (1-x_{f,a})\left\{\frac{\delta L_{P_{f,a}}}{1-L_{P_{f,a}}} + \frac{x_{f,a}-L_{P_{f,a}}}{A_{f,a}}\left[\delta C_{P_{f,a}} - \delta L_{P_{f,a}}\frac{(1-C_{P_{f,a}})}{(1-L_{P_{f,a}})}\right]\right\}$$

$$,(A_{f,a} = C_{P_{f,a}}(1-2\bar{x}_{f,a}) - L_{P_{f,a}}(1-C_{P_{f,a}}))$$

② $\delta C_{P_{f,a}}$ 구하기

Given: $C_P,\ \delta C_P,\ h_{a,f},\ LCB,\ \delta LCB$

Find: $\delta C_{P_{f,a}}$

$$\delta C_{Pf} = \frac{2[\delta C_P(h_a + LCB) + \delta LCB(C_P + \delta C_P)]}{h_f + h_a}$$

$$\delta C_{Pa} = \frac{2[\delta C_P(h_f - LCB) - \delta LCB(C_P + \delta C_P)]}{h_f + h_a}$$

③ $h_{f,a}$ 구하기

Given: $C_{P_{f,a}}, \delta C_{P_{f,a}}, L_{P_{f,a}}, \delta L_{P_{f,a}}, \bar{x}_{f,a}, k_{f,a}$

Find: $h_{f,a}$

$$h_{f,a} = C_{P_{f,a}} \cdot \left(\frac{B_{f,a}}{C_{P_{f,a}}}\left[1 - \frac{\delta L_{P_{f,a}}\cdot(1-C_{P_{f,a}})}{\delta C_{P_{f,a}}(1-L_{P_{f,a}})}\right] + \frac{\delta L_{P_{f,a}}\cdot(1-2\bar{x}_{f,a})}{\delta C_{P_{f,a}}(1-L_{P_{f,a}})}\right)$$

$$(A_{f,a} = C_{P_{f,a}}(1-2\bar{x}_{f,a}) - L_{P_{f,a}}(1-C_{P_{f,a}})),\ \left(B_{f,a} = \frac{C_{P_{f,a}}\cdot\left[2\bar{x}_{f,a} - 3k_{f,a}^{2} - L_{P_{f,a}}\cdot(1-2\bar{x}_{f,a})\right]}{A_{f,a}}\right)$$

$h_{f,a}$ 를 구하기 위해 미지수인 $\delta C_{P_{f,a}}$ 가 주어져야함 !

③ $h_{f,a}$ 구하는 식을 ②식에 에 대입한 후, $\delta C_{P_{f,a}}$ 에 대해 정리하면,

Given: $C_P,\ \delta C_P, L_{P_{f,a}}, \delta L_{P_{f,a}},\ LCB,\ \delta LCB, k_{f,a}$

Find: $\delta C_{P_{f,a}}$

$$\delta C_{p_f} = \frac{2\left[\delta C_p\cdot(B_a + LCB) + \delta LCB\cdot(C_P + \delta C_P)\right] + C_f\cdot\delta L_{p_f} - C_a\cdot\delta L_{p_a}}{B_f + B_a}$$

$$\delta C_{p_a} = \frac{2\left[\delta C_p\cdot(B_f - LCB) - \delta LCB\cdot(C_P + \delta C_P)\right] - C_f\cdot\delta L_{P_f} + C_a\cdot\delta L_{p_a}}{B_f + B_a}$$

$$(A_{f,a} = C_{P_{f,a}}(1-2\bar{x}_{f,a}) - L_{P_{f,a}}(1-C_{P_{f,a}}))$$

$$\left(B_{f,a} = \frac{C_{P_{f,a}}\cdot\left[2\bar{x}_{f,a} - 3k_{f,a}^{2} - L_{P_{f,a}}\cdot(1-2\bar{x}_{f,a})\right]}{A_{f,a}}\right)\left(C_{f,a} = \frac{B_{f,a}(1-C_{P_{f,a}}) - C_{P_{f,a}}(1-2\bar{x}_{f,a})}{1-L_{P_{f,a}}}\right)$$

$$C_P = C_b / C_m$$

$\delta C_P : C_P$의 변화량

x : Midship으로부터 임의의 횡단면까지의 거리

δx : Midship으로부터 거리 x에 위치한 횡단면이 이동한 거리, 즉, δC_P를 만족하는 횡단면의 이동 거리

h : Midship으로부터 δC_P의 중심까지의 거리

L_P :Parallel Middle Body (횡단면적이 같은 부분의 선박의 길이)

δL_P : L_P의 변화량

$\bar{x}$:Midship으로부터 반폭선형의 도심까지의 거리

y : x에 위치한 횡단면의 면적비, 이때 면적비은 중앙부 횡단면적으로 나눈 값

선형 변환 방법

참고 문헌: Lackenby, On The Systematic Geometrical Variation of ship forms, 1950, RINA , p.294

“Lackenby 방법” – General Case

① “Lackenby 방법” <General Case>

Given: $C_{P_{f,a}}, \delta C_{P_{f,a}}, L_{P_{f,a}}, \delta L_{P_{f,a}}, \bar{x}_{f,a}$

Find: $\delta x_{f,a}$

$$\delta x_{f,a} = (1-x_{f,a})\left\{\frac{\delta L_{P_{f,a}}}{1-L_{P_{f,a}}} + \frac{x_{f,a}-L_{P_{f,a}}}{A_{f,a}}\left[\delta C_{P_{f,a}} - \delta L_{P_{f,a}}\frac{(1-C_{P_{f,a}})}{(1-L_{P_{f,a}})}\right]\right\}$$

$$,(A_{f,a} = C_{P_{f,a}}(1-2\bar{x}_{f,a}) - L_{P_{f,a}}(1-C_{P_{f,a}}))$$

② $\delta C_{P_{f,a}}$ 구하기

Given: $C_P, \delta C_P, h_{a,f}$ $LCB, \delta LCB$

Find: $\delta C_{P_{f,a}}$

$$\delta C_{Pf} = \frac{2[\delta C_P(h_a + LCB) + \delta LCB(C_P + \delta C_P)]}{h_f + h_a}$$

$$\delta C_{Pa} = \frac{2[\delta C_P(h_f - LCB) - \delta LCB(C_P + \delta C_P)]}{h_f + h_a}$$

③ $h_{f,a}$ 구하기

Given: $C_{P_{f,a}}, \delta C_{P_{f,a}}, L_{P_{f,a}}, \delta L_{P_{f,a}}, \bar{x}_{f,a}, k_{f,a}$

Find: $h_{f,a}$

$$h_{f,a} = C_{P_{f,a}} \cdot \left(\frac{B_{f,a}}{C_{P_{f,a}}}\left[1 - \frac{\delta L_{P_{f,a}} \cdot (1-C_{P_{f,a}})}{\delta C_{P_{f,a}}(1-L_{P_{f,a}})}\right] + \frac{\delta L_{P_{f,a}} \cdot (1-2\bar{x}_{f,a})}{\delta C_{P_{f,a}}(1-L_{P_{f,a}})}\right)$$

$$(A_{f,a} = C_{P_{f,a}}(1-2\bar{x}_{f,a}) - L_{P_{f,a}}(1-C_{P_{f,a}})), \quad \left(B_{f,a} = \frac{C_{P_{f,a}} \cdot \left[2\bar{x}_{f,a} - 3k_{f,a}^{\ 2} - L_{P_{f,a}} \cdot (1-2\bar{x}_{f,a})\right]}{A_{f,a}}\right)$$

$h_{f,a}$ 를 구하기 위해 구하려는 $\delta C_{P_{f,a}}$ 가 주어져야함 !

③ $h_{f,a}$ 구하는 식을 ②식에 에 대입한 후, $\delta C_{P_{f,a}}$ 에 대해 정리하면,

Given: $C_P, \delta C_P, L_{P_{f,a}}, \delta L_{P_{f,a}}, LCB, \delta LCB, k_{f,a}$

Find: $\delta C_{P_{f,a}}$

$$\delta C_{P_f} = \frac{2\left[\delta C_p \cdot (B_a + LCB) + \delta LCB \cdot (C_P + \delta C_P)\right] + C_f \cdot \delta L_{P_f} - C_a \cdot \delta L_{P_a}}{B_f + B_a}$$

$$\delta C_{P_a} = \frac{2\left[\delta C_p \cdot (B_f - LCB) - \delta LCB \cdot (C_P + \delta C_P)\right] - C_f \cdot \delta L_{P_f} + C_a \cdot \delta L_{P_a}}{B_f + B_a}$$

$$(A_{f,a} = C_{P_{f,a}}(1-2\bar{x}_{f,a}) - L_{P_{f,a}}(1-C_{P_{f,a}}))$$

$$\left(B_{f,a} = \frac{C_{P_{f,a}} \cdot \left[2\bar{x}_{f,a} - 3k_{f,a}^{\ 2} - L_{P_{f,a}} \cdot (1-2\bar{x}_{f,a})\right]}{A_{f,a}}\right)\left(C_{f,a} = \frac{B_{f,a}(1-C_{P_{f,a}}) - C_{P_{f,a}}(1-2\bar{x}_{f,a})}{1-L_{P_{f,a}}}\right)$$

③ $k_{f,a}$ 구하기

$$k_{f,a} = \frac{I_{f,a}}{Area_{f,a}}$$

$k_{f,a}$: 반폭 선형의 Cp curve의 2차 면적모멘트의 길이방향 중심

$I_{f,a}$: 반폭 선형의 Cp curve의 2차 면적모멘트

$Area_{f,a}$: 반폭 선형의 Cp cruve의 면적

$C_P = C_b / C_m$

δC_P : C_P의 변화량

x : Midship으로부터 임의의 횡단면까지의 거리

δx : Midship으로부터 거리 x에 위치한 횡단면이 이동한 거리, 즉, δC_P를 만족하는 횡단면의 이동 거리

h : Midship으로부터 δC_P의 중심까지의 거리

: Special cases

L_P :P

δL_P :

$\bar{x}$:M

y : x

는 값

선형 변환 방법
"1-C_P" Variation 방법과 Lackenby Variation 방법의 관계

"1-C_P" variation 방법

Given : $C_{P_{a,f}}$, $\delta C_{P_{a,f}}$

Find : $\delta x_{a,f}$

$$\delta x_{f,a} = \frac{\delta C_{P_{f,a}}}{1-C_{P_{f,a}}}\left(1-x_{f,a}\right)$$

"1-C_P" variation 방법에 따른 중앙평행부의 길이 변화량

Given : $C_{P_{f,a}}$, $\delta C_{P_{f,a}}$, $L_{P_{f,a}}$

Find : $\delta L_{P_{f,a}}$

$$\delta L_{P_{f,a}} = \frac{\delta C_{P_{f,a}}}{1-C_{P_{f,a}}}\left(1-L_{P_{f,a}}\right)$$

→ Parallel Middle Body의 변화 량($\delta L_{pf,a}$)이 "1-C_P" variation 식에 의해 정해짐

"Lackenby 방법" <General Case>

Given: $C_{P_{f,a}}$, $\delta C_{P_{f,a}}$, $L_{P_{f,a}}$, $\delta L_{P_{f,a}}$, $\bar{x}_{f,a}$

Find: $\delta x_{f,a}$

$$\delta x_{f,a} = (1-x_{f,a})\left\{\frac{\delta L_{P_{f,a}}}{1-L_{P_{f,a}}} + \frac{x_{f,a}-L_{P_{f,a}}}{A_{f,a}}\left[\delta C_{P_{f,a}} - \delta L_{P_{f,a}}\frac{(1-C_{P_{f,a}})}{(1-L_{P_{f,a}})}\right]\right\}$$

$$,(A_{f,a} = C_{P_{f,a}}(1-2\bar{x}_{f,a}) - L_{P_{f,a}}(1-C_{P_{f,a}}))$$

→Parallel Middle Body의 변화 량($\delta L_{pf,a}$)을 사용자가 정할 수있음

(Lackenby 방법 식에 대입)

$$\delta x_{f,a} = (1-x_{f,a})\left\{\frac{\delta L_{P_{f,a}}}{1-L_{P_{f,a}}} + \frac{x_{f,a}-L_{P_{f,a}}}{A_{f,a}}\left[\delta C_{P_{f,a}} - \delta L_{P_{f,a}}\frac{(1-C_{P_{f,a}})}{(1-L_{P_{f,a}})}\right]\right\}$$

$$\delta x_{f,a} = (1-x_{f,a})\left\{\frac{\left\{\frac{\delta C_{P_{f,a}}}{1-C_{P_{f,a}}}\cancel{(1-L_{P_{f,a}})}\right\}}{\cancel{1-L_{P_{f,a}}}} + \frac{x_{f,a}-L_{P_{f,a}}}{A_{f,a}}\left[\delta C_{P_{f,a}} - \left\{\frac{\delta C_{P_{f,a}}}{\cancel{1-C_{P_{f,a}}}}\cancel{(1-L_{P_{f,a}})}\right\}\frac{\cancel{(1-C_{P_{f,a}})}}{\cancel{(1-L_{P_{f,a}})}}\right]\right\}$$

$$\therefore \delta x_{f,a} = \frac{\delta C_{P_{f,a}}}{1-C_{P_{f,a}}}\left(1-x_{f,a}\right)$$

→ "1-C_P" variation 식과 동일한 식을 얻음

→ 즉, "1-C_P" variation 방법은 Lackenby 방법의 특수한 경우임

$C_P = C_b / C_m$

δC_P : C_P의 변화량

x : Midship으로부터 임의의 횡단면까지의 거리

δx : Midship으로부터 거리 x에 위치한 횡단면이 이동한 거리, 즉, δC_P를 만족하는 횡단면의 이동 거리

h : Midship으로부터 δC_P의 중심까지의 거리

L_P : Parallel

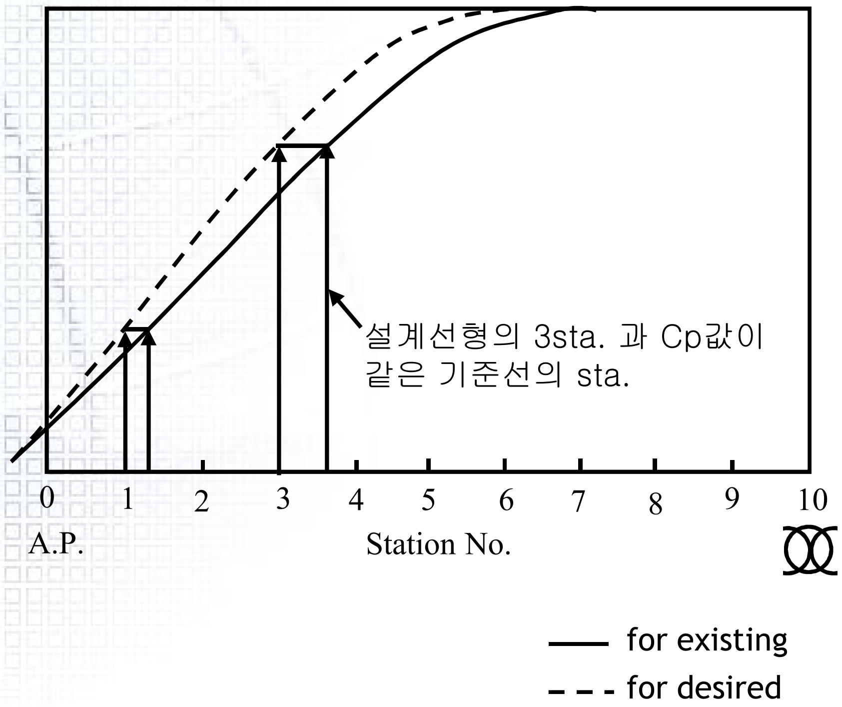
δL_P : L_P의

$\bar{x}$: Midship

y : x에 위치한 횡단면의 면적비, 이때 면적비는 중앙부 횡단면적으로 나눈 값

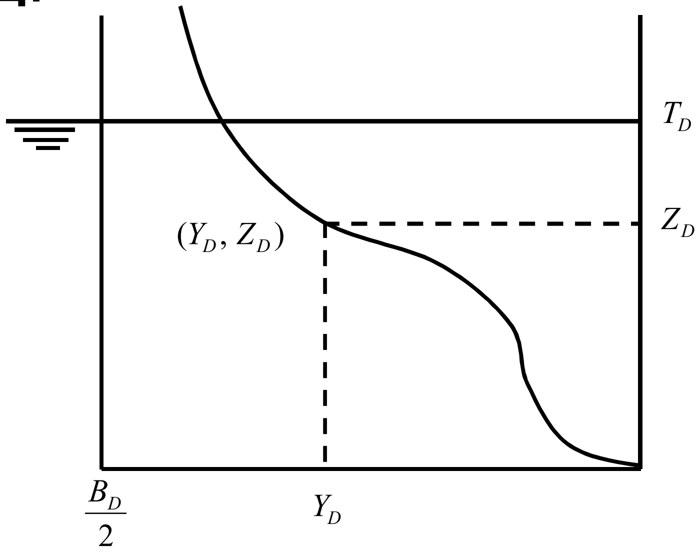
Body plan(정면 선도) 설계

Cp곡선으로 부터 설계 선형의 station 구하기



•설계 선형의 station에 해당하는 횡단면을 기준 선형의 수선면을 이용하여 구한다. (곡선 보간 방법 사용)

B(Breadth)및 T(Draft)의 차이에 대한 수정을 가하여 설계 선형의 정면도를 설계한다.



$$Z_D = Z_E \cdot \frac{T_D}{T_E}$$

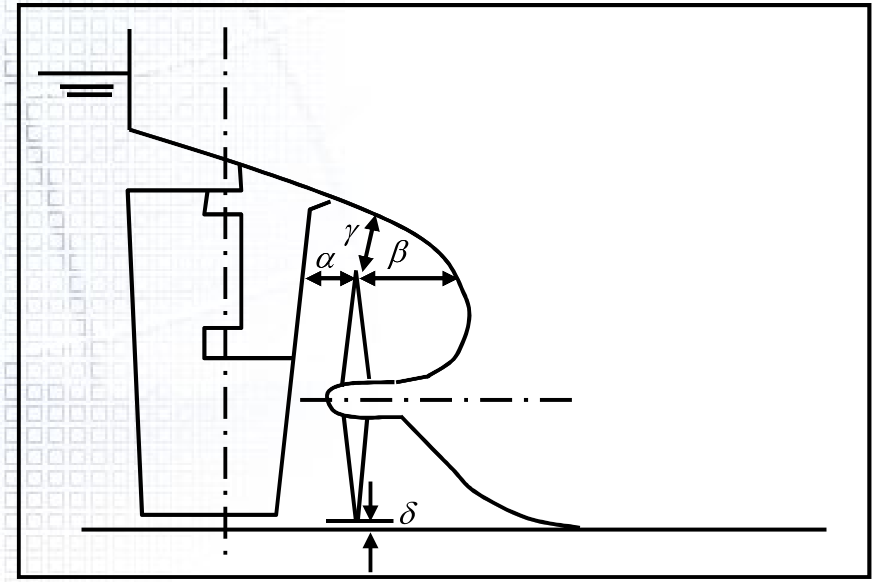
$$Y_D = Y_E \cdot \frac{B_D}{B_E}$$

E : for existing

D : for desired

선미 profile(측면도)설계

추진기와 선체 또는 추진기와 타 사이에 적절한 간격



	기준값	일본 조선설계편람
α/D	0.15~0.2	0.15~0.18
β/D	0.25~0.3	0.25~0.3
γ/D	0.2~0.3	0.2~0.25
δ/D	0.05~0.12	0.05~0.10
δ : 보통 100~300 mm		

프로펠러 날개수

14,000 BHP 이상: 5개
14,000 BHP 이하 : 4개

선형변환 방법 과정

선형 설계 과정		
	1. 선수부·선미부 CP 계산	5. Body plan
	2. 횡단면이동거리계산(1-CP 변환)	6. 선수 Profile
	3. Swing station 방법	7. 선미 Profile
	4. CP-curve 확정	8. Fairing

1	C_p와 LCB가 정해지면, 선수부 및 선미부 C_p값을 추정/계산한다
2	'1-C_p 변환방법' 을 이용하여 같은 횡단면 형상을 단지 길이방향으로 이동하여 CB를 조정한다.
3	'Swing station 방법'을 이용하여 횡단면 형상을 길이방향으로 'Shift' 시켜 LCB를 조정한다
4	국부적인 수정을 하여 C_p-curve를 확정한다
5	Body plan(정면선도)을 설계한다
6	선수의 profile(측면도)을 설계한다.
7	선미의 profile을 설계한다
8	Fairing(순정)

선형 변환 방법
"$1-C_P$" Variation 방법 예제

$$\nabla = \frac{S}{3} B \cdot T \cdot C_M \sum ④$$

① Station	② Fractional Area	③ S.M.	④ Function of volume [②*③]	⑤ Fractional lever	⑥ Functions of moments First [④*⑤]	⑦ Functions of moments Second [⑥*⑤]
A.P. 0	0.0089	1/4	0.00223	1	0.00223	0.00223
1/4	0.0321	1	0.0321	0.95	0.03050	0.023898
1/2	0.1196	1/2	0.05980	0.90	0.05382	0.04844
3/4	0.2295	1	0.2295	0.85	0.19508	0.16582
1	0.3356	3/4	0.25170	0.80	0.20136	0.16109
3/2	0.5317	2	1.06340	0.70	0.74438	0.52107
2	0.6983	1	0.6983	0.60	0.41898	0.25139
5/2	0.8260	2	1.652	0.50	0.82600	0.41300
3	0.9140	3/2	1.3710	0.40	0.54840	0.21936
4	0.9926	4	3.97040	0.20	0.79408	0.15882
5	1.000	2	1.000	0	0	0
Afterbody Sum			10.33043		3.81483	1.96512
5	1.000	2	1.000	0	0	0
6	0.9903	4	3.96120	0.20	0.79224	0.15845
7	0.9180	3/2	1.3770	0.40	0.5508	0.07344
15/2	0.8377	2	1.67540	0.50	0.83770	0.41885
8	0.7167	1	0.7167	0.60	0.43002	0.25801
17/2	0.5462	2	1.09240	0.70	0.76468	0.53528
9	0.3424	3/4	0.25680	0.80	0.20544	0.16435
9+1/4	0.2431	1	0.2431	0.85	0.20664	0.17564
9+1/2	0.1601	1/2	0.08005	0.90	0.07205	0.06485
9+3/4	0.0994	1	0.0994	0.95	0.09443	0.08971
F.P. 10	0.0553	1/4	0.01383	1	0.01383	0.01383
Forebody Sum			10.5159		3.96783	1.95241
Toal Sum		30	20.84633			

Given :

LBP = 85m, Bmld = 17.4m, T mld = 4.81m

전반부 parallel midship body : 4.25m

후반부 parallel midship body : 5.30m

station**별 횡단면적 값**

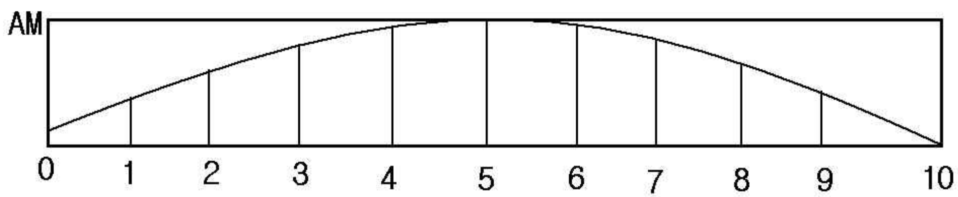
단, LBP를 2로 두고, 값들을 Scaling 하여 사용함

질문 1.

C_B**를** 0.7**로 변화시켰을 때** 1-C_P **방법에 따라 선형을 변환하라. 이때** LCB**는 변화하지 않는다고 가정한다. 기준선의** C_B=0.6902, C_M=0.9913**으로 가정한다.**

질문 2.

질문 1**과 같으며,단** LCB**를** 2m **선미쪽으로 이동한다**



선형 변환 방법
“1-C$_P$” Variation 방법 예제

질문 1. C_B를 0.7로 변화시켰을때 1-C_P 방법에 따라 선형을 변환하라. 이때 LCB는 변화하지 않는다고 가정한다. 기준선의 C_B=0.6889, C_M=0.9913으로 가정한다.

Given :

LBP = 85m, Bmld = 17.4m, T mld = 4.81m

전반부 parallel midship body : 4.25m

후반부 parallel midship body : 5.30m

station별 횡단면적 값

$\sum ④_f = 10.5159$

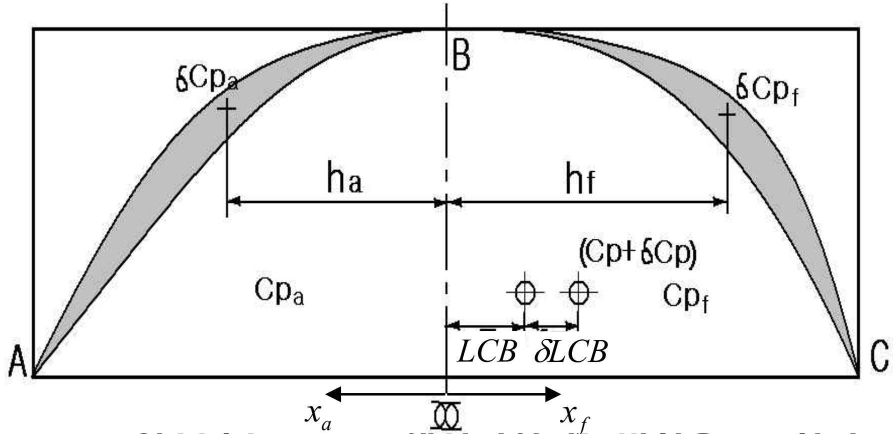
$\sum ④_a = 10.33043$

$\sum ④ = 20.84633$

1) 기준선의 C_P 및 C_P의 변화량, δC_P

$$C_P = \frac{C_B}{C_M} = \frac{\nabla}{LBT}\frac{1}{C_M} \quad , \left(\nabla = \frac{S}{3} B \cdot T \cdot C_M \sum ④\right)$$

S : Simson 적분간격 $= \frac{L}{10}$ $\qquad \sum ④$: Total sum of function of volume



x_a, x_f의 부호는 Midship에서 멀어지는 방향을 + 로 한다.

$$C_P = \frac{C_B}{C_M} = \frac{\frac{1}{3}\frac{L}{10} B \cdot T \cdot C_M \sum ④}{L \cdot B \cdot T}\frac{1}{C_M}$$

$$= \frac{\frac{1}{3}\frac{\cancel{L}}{10} \cdot \cancel{B} \cdot \cancel{T} \cdot \cancel{C_M}\, 20.84633}{\cancel{L} \cdot \cancel{B} \cdot \cancel{T}}\frac{1}{\cancel{C_M}}$$

$$= 0.69489$$

$$\delta C_p = \frac{\delta C_B}{C_M} = \frac{0.7 - 0.6902}{0.9913} = \frac{0.0098}{0.9913}$$

$$= 0.00989$$

선형 변환 방법

"1-C_P" Variation 방법 예제

질문 1. C_B를 0.7로 변화시켰을때 1-C_P 방법에 따라 선형을 변환하라. 이때 LCB는 변화하지 않는다고 가정한다. 기준선의 C_B=0.6902, C_M=0.9913으로 가정한다.

Given :

LBP = 85m, Bmld = 17.4m, T mld = 4.81m

전반부 parallel midship body : 4.25m

후반부 parallel midship body : 5.30m

station별 횡단면적 값

$\sum ④_f = 10.5159$

$\sum ④_a = 10.33043$

$\sum ④ = 20.84633$

1)

$$h_a = 0.57838$$

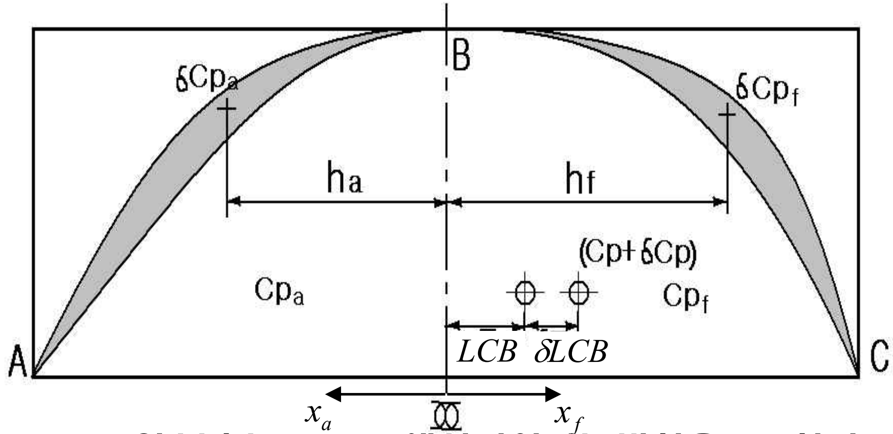
$$\delta C_p = 0.00989$$

2) 전반부 C_{P_f} 및 전반부 C_{P_a}

$$C_{P_{f,a}} = \frac{C_{B_{f,a}}}{C_M} = \frac{\nabla_{f,a}}{\frac{L}{2}BT}\frac{1}{C_M}, \left(\nabla = \frac{S}{3}B\cdot T\cdot C_M \sum ④_{f,a}\right)$$

$S : Simpson$ 적분간격$= \frac{L}{10}$

$\nabla_{f,a}$: 반폭의 배수량 $\sum ④_{f,a}$:forebody or after body sum of function of volume



x_a, x_f의 부호는 Midship에서 멀어지는 방향을 + 로 한다.

$$C_{P_f} = \frac{C_{B_f}}{C_M} = \frac{\frac{1}{3}\frac{L}{10}B\cdot T\cdot C_M \sum ④_f}{\frac{L}{2}\cdot B\cdot T}\frac{1}{C_M}$$

$$= \frac{\frac{1}{3}\frac{\cancel{L}}{10}\cdot\cancel{B}\cdot\cancel{T}\cdot\cancel{C}_M 10.5159}{\frac{\cancel{L}}{2}\cdot\cancel{B}\cdot\cancel{T}}\frac{1}{\cancel{C}_M}$$

$$= 0.70106$$

$$C_{P_a} = \frac{\frac{1}{3}\frac{L}{10}B\cdot T\cdot C_M \cdot 10.33043}{\frac{L}{2}\cdot B\cdot T}\frac{1}{C_M}$$

$$= 0.68870$$

선형 변환 방법
"1-C_P" Variation 방법 예제

질문 1. C_B를 0.7로 변화시켰을때 1-C_P 방법에 따라 선형을 변환하라. 이때 LCB는 변화하지 않는다고 가정한다. 기준선의 C_B=0.6902, C_M=0.9913으로 가정한다.

Given :

LBP = 85m, Bmld = 17.4m, T mld = 4.81m

전반부 parallel midship body : 4.25m

후반부 parallel midship body : 5.30m

station별 횡단면적 값

$\sum ④_f = 10.5159$

$\sum ④_a = 10.33043$

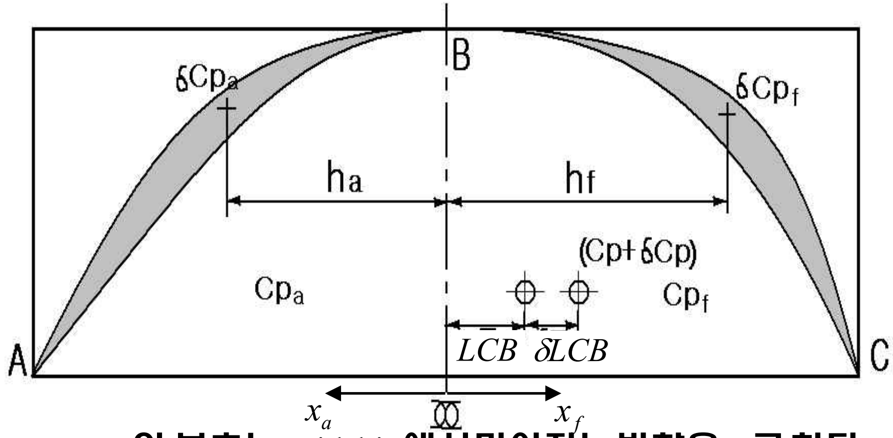
$\sum ④ = 20.84633$

1)

$$C_P = 0.69489$$
$$\delta C_p = 0.00989$$

2)

$$C_{P_f} = 0.70106$$
$$C_{P_a} = 0.68870$$



x_a, x_f의 부호는 Midship에서 멀어지는 방향을 + 로 한다.

3) LCB및 LCB의 변화량, δLCB

$$LCB = \frac{\text{길이방향 1차 모멘트}}{\nabla}$$

$$= \frac{(3.96783) - (3.81483)}{20.84633}$$

$$= 0.00734$$

선미부 길이방향1차 모멘트의 방향을 바꾸어 계산

LCB는 변화하지 않으므로,

$$\delta LCB = 0$$

선형 변환 방법
"1-C_p" Variation 방법 예제

질문 1. C_B를 0.7로 변화시켰을때 1-C_P 방법에 따라 선형을 변환하라. 이때 LCB는 변화하지 않는다고 가정한다. 기준선의 C_B=0.6902, C_M=0.9913으로 가정한다.

Given :

LBP = 85m, Bmld = 17.4m, T mld = 4.81m

전반부 parallel midship body : 4.25m

후반부 parallel midship body : 5.30m

station별 횡단면적 값

$\sum ④_f = 10.5159$

$\sum ④_a = 10.33043$

$\sum ④ = 20.84633$

1)

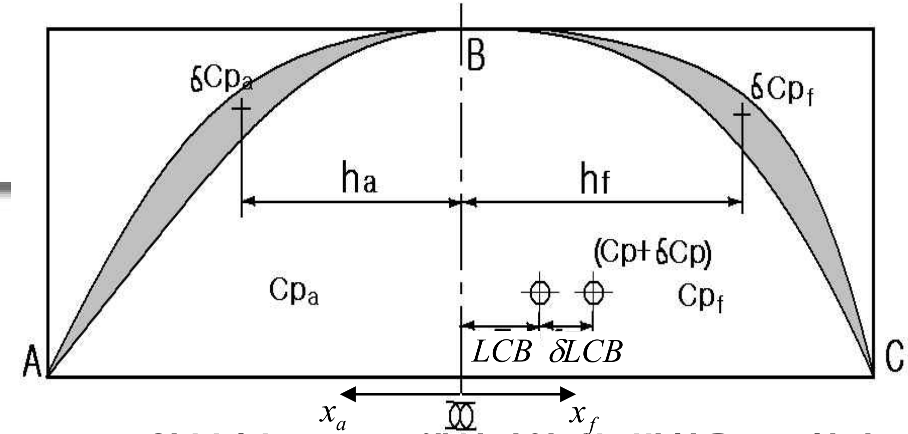
$$C_P = 0.69489$$
$$\delta C_p = 0.00989$$

2)

$$C_{P_f} = 0.70106$$
$$C_{P_a} = 0.68870$$

3)

$$LCB = 0.00734$$
$$\delta LCB = 0$$



x_a, x_f의 부호는 Midship에서 멀어지는 방향을 + 로 한다.

4) $\bar{x}$

$\bar{x}$:Midship 으로 부터 반폭 선형의 도심까지의 거리

$$\bar{x}_{f,a} = \frac{\text{길이방향 1차 모멘트}_{f,a}}{\Delta_{f,a}}$$

$$\bar{x}_f = \frac{3.96783}{10.5159} = \underline{0.37732}$$

$$\bar{x}_a = \frac{3.81483}{10.33043} = \underline{0.36928}$$

선형 변환 방법

"1-C_P" Variation 방법 예제

질문 1. C_B를 0.7로 변화시켰을때 1-C_P 방법에 따라 선형을 변환하라. 이때 LCB는 변화하지 않는다고 가정한다. 기준선의 C_B=0.6902, C_M=0.9913으로 가정한다.

Given :

LBP = 85m, Bmld = 17.4m, T mld = 4.81m

전반부 parallel midship body : 4.25m

후반부 parallel midship body : 5.30m

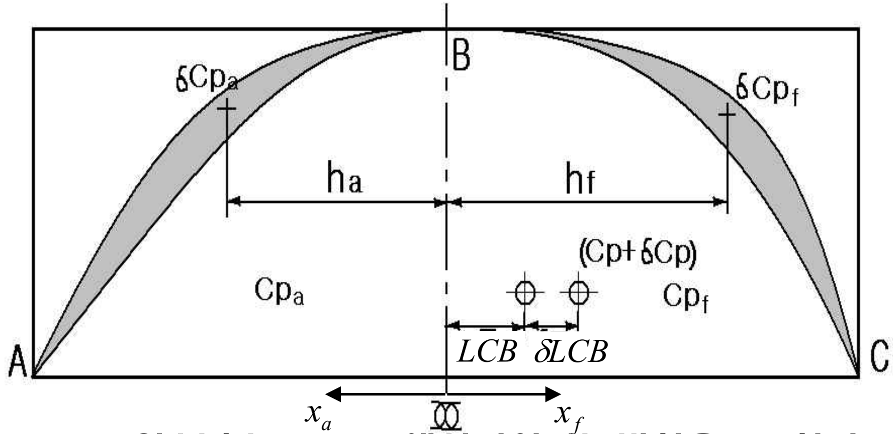
station별 횡단면적 값

1)
$$C_P = 0.69489$$
$$\delta C_p = 0.00989$$

2)
$$C_{P_f} = 0.70106$$
$$C_{P_a} = 0.68870$$

3)
$$LCB = 0.00734$$
$$\delta LCB = 0$$

4)
$$\bar{x}_f = 0.37732$$
$$\bar{x}_a = 0.36928$$



x_a, x_f의 부호는 Midship에서 멀어지는 방향을 + 로 한다.

5) Midship으로부터 δC_P의 중심까지의 거리(h)

$$\boxed{h_{f,a} = \frac{C_{P_{f,a}}(1-2\bar{x}_{f,a})}{1-C_{P_{f,a}}}}$$

$$h_f = \frac{0.70106(1-2\cdot 0.37732)}{1-0.70106} = 0.57542$$

$$h_a = \frac{0.68870(1-2\cdot 0.36928)}{1-0.68870} = 0.57838$$

선형 변환 방법

"1−C_p" Variation 방법 예제

질문 1. C_B를 0.7로 변화시켰을때 1-C_P 방법에 따라 선형을 변환하라. 이때 LCB는 변화하지 않는다고 가정한다. 기준선의 C_B=0.6902, C_M=0.9913으로 가정한다.

Given :

LBP = 85m, Bmld = 17.4m, T mld = 4.81m

전반부 parallel midship body : 4.25m

후반부 parallel midship body : 5.30m

station별 횡단면적 값

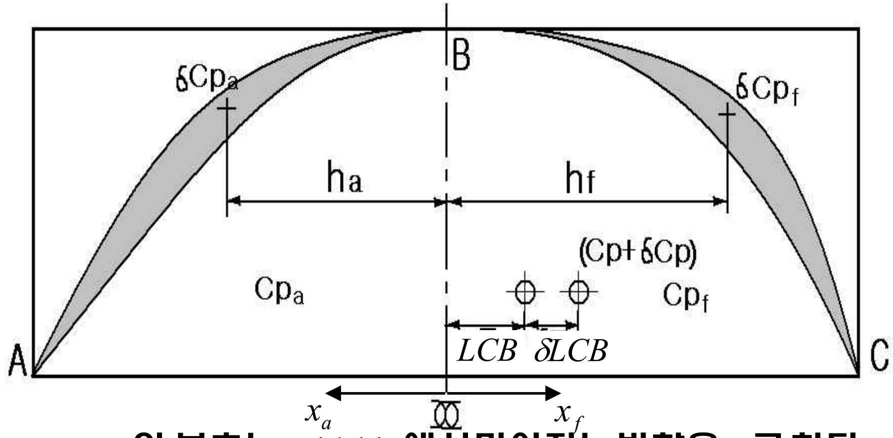
1)
$$C_P = 0.69489 \qquad \delta C_p = 0.00989$$

2)
$$C_{P_f} = 0.70106 \qquad C_{P_a} = 0.68870$$

3)
$$LCB = 0.00734 \qquad \delta LCB = 0$$

4)
$$\bar{x}_f = 0.37732 \qquad \bar{x}_a = 0.36928$$

5)
$$h_f = 0.57542 \qquad h_a = 0.57838$$



x_a, x_f의 부호는 Midship에서 멀어지는 방향을 + 로 한다.

6) 전반부 C_p변화량, δC_{Pf}과 후반부 C_p 변화량, δC_{Pa}을 구한다.

$$\delta C_{Pf} = \frac{2[\delta C_P(h_a + LCB) + \delta LCB(C_P + \delta C_P)]}{h_f + h_a}$$

$$\delta C_{Pa} = \frac{2[\delta C_P(h_f - LCB) - \delta LCB(C_P + \delta C_P)]}{h_f + h_a}$$

LCB의 부호는 Midship에서 선수방향을 (+)로 두므로, 선미부 Cp변화량을 구할 때는 부호변환을 하여 사용한다.

$$\delta C_{Pf} = \frac{2 \cdot [0.00989 \cdot (0.57838 + 0.00734)]}{0.57542 + 0.57838} = 0.01004$$

$$\delta C_{Pa} = \frac{2 \cdot [0.00989 \cdot (0.57542 - 0.00734)]}{0.57542 + 0.57838} = 0.00979$$

선형 변환 방법
"1−C_P" Variation 방법 예제

질문 1. C_B를 0.7로 변화시켰을때 1-C_P 방법에 따라 선형을 변환하라. 이때 LCB는 변화하지 않는다고 가정한다. 기준선의 C_B=0.6902, C_M=0.9913으로 가정한다.

Given :

LBP = 85m, Bmld = 17.4m, T mld = 4.81m

전반부 parallel midship body : 4.25m

후반부 parallel midship body : 5.30m

station별 횡단면적 값

1) $C_P = 0.69489$, $\delta C_p = 0.00989$

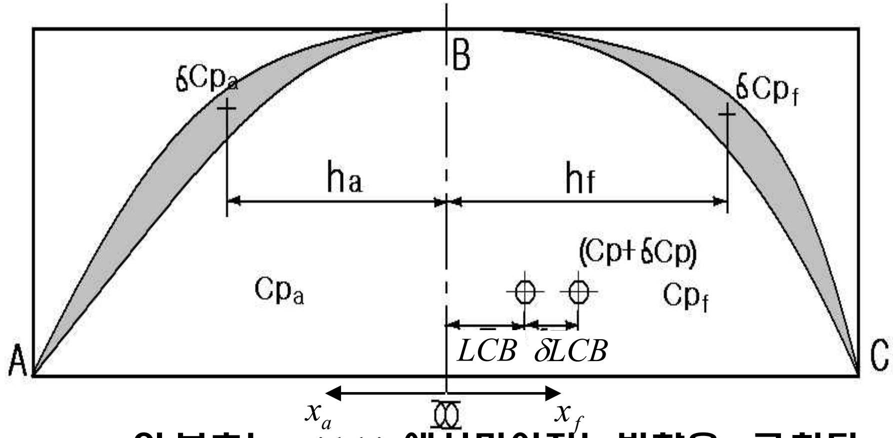
2) $C_{P_f} = 0.70106$, $C_{P_a} = 0.68870$

3) $LCB = 0.00734$, $\delta LCB = 0$

4) $\bar{x}_f = 0.37732$, $\bar{x}_a = 0.36928$

5) $h_f = 0.57542$, $h_a = 0.57838$

6) $\delta C_{Pf} = 0.01004$, $\delta C_{Pa} = 0.00979$



x_a, x_f의 부호는 Midship에서 멀어지는 방향을 + 로 한다.

7) 1-Cp변환 방법의 횡단면의 이동거리 식을 바탕으로 δx 를 구한다.

$$\delta x_{f,a} = \frac{\delta C_{P_{f,a}}}{1 - C_{P_{f,a}}}\left(1 - x_{f,a}\right)$$

부호(+) : 선수 선미부 Midship을 기준으로 (+)방향으로 모두 이동 → C_b증가

$$\delta x_f = \frac{0.01004}{1 - 0.70106}\left(1 - x_f\right) = 0.03358(1 - x_f)$$

$$\delta x_a = \frac{0.00979}{1 - 0.68870}\left(1 - x_a\right) = 0.03143(1 - x_a)$$

7) $\delta x_f = 0.03358(1 - x_f)$, $\delta x_a = 0.03143(1 - x_a)$

선형 변환 방법
"1−C_p" Variation 방법 예제

질문 2. 질문 1과 같으며, 단 LCB를 2m 선미 쪽으로 이동한다.

Given :

LBP = 85m, Bmld = 17.4m, T mld = 4.81m

전반부 parallel midship body : 4.25m

후반부 parallel midship body : 5.30m

station별 횡단면적 값

$\sum ④_f = 9.59788$

$\sum ④_a = 10.33043$

$\sum ④ = 19.92831$

1)
$$C_P = 0.69489$$
$$\delta C_p = 0.00989$$

2)
$$C_{P_f} = 0.70106$$
$$C_{P_a} = 0.68870$$

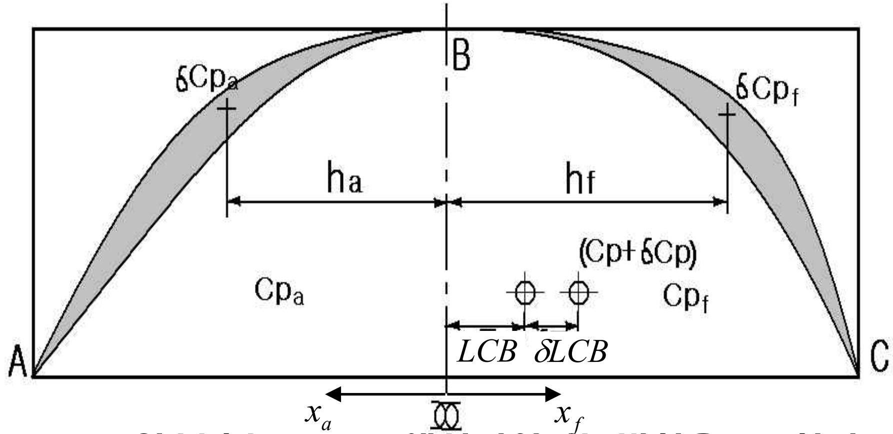
3)
$$LCB = 0.00734$$
$$\delta LCB = \boxed{?}$$

4)
$$\bar{x}_f = 0.37732$$
$$\bar{x}_a = 0.36928$$

5)
$$h_f = 0.57542$$
$$h_a = 0.57838$$

6)
$$\delta C_{Pf} = \boxed{?}$$
$$\delta C_{Pa} = \boxed{?}$$

7)
$$\delta x_f = \boxed{?}$$
$$\delta x_a = \boxed{?}$$



x_a, x_f의 부호는 Midship에서 멀어지는 방향을 + 로 한다.

✓LCB가 2m 선미 쪽으로 이동 했을 때, 1), 2), 4), 5)의 값은 질문 1.과 동일하며, 3), 6), 7)의 값이 바뀌게 된다.

3) LCB가 2m선미 쪽으로 이동했으므로,

$$\delta LCB = \frac{-2}{42.5} = -0.04706$$

,(δLCB값은 $\frac{LCB}{2}$로 나누어 scaling되었음)

선형 변환 방법
"1−C_p" Variation 방법 예제

질문 2. 질문 1과 같으며, 단 LCB를 2m 선미 쪽으로 이동한다.

Given :
LBP = 85m, Bmld = 17.4m, T mld = 4.81m
전반부 parallel midship body : 4.25m
후반부 parallel midship body : 5.30m
station별 횡단면적 값

$\sum ④_f = 9.59788$
$\sum ④_a = 10.33043$
$\sum ④ = 19.92831$

1)
$C_P = 0.69489$
$\delta C_p = 0.00989$

2)
$C_{P_f} = 0.70106$
$C_{P_a} = 0.68870$

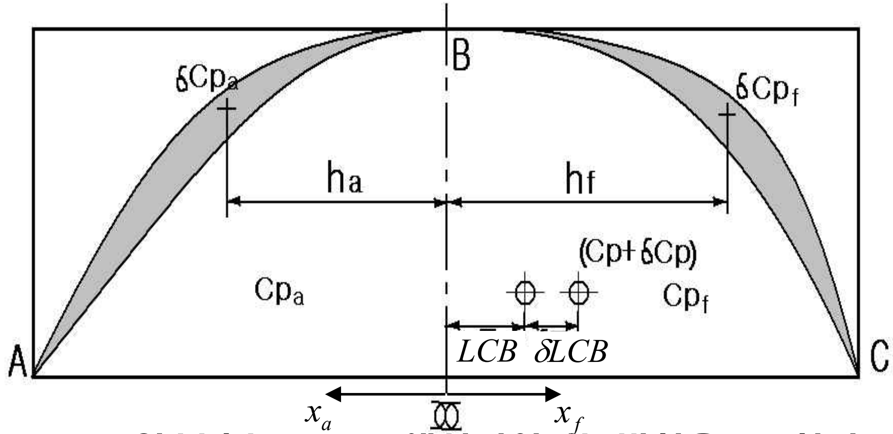
3)
$LCB = 0.00734$
$\delta LCB = -0.04706$

4)
$\bar{x}_f = 0.37732$
$\bar{x}_a = 0.36928$

5)
$h_f = 0.57542$
$h_a = 0.57838$

6)
$\delta C_{Pf} =$?
$\delta C_{Pa} =$?

7)
$\delta x_f =$?
$\delta x_a =$?



x_a x_f
x_a, x_f의 부호는 Midship에서 멀어지는 방향을 + 로 한다.

6) 전반부 C_p변화량, δC_{Pf}과 후반부 C_p 변화량, δC_{Pa}을 구한다.

$$\delta C_{Pf} = \frac{2[\delta C_P(h_a + LCB) + \delta LCB(C_P + \delta C_P)]}{h_f + h_a}$$

$$\delta C_{Pa} = \frac{2[\delta C_P(h_f - LCB) - \delta LCB(C_P + \delta C_P)]}{h_f + h_a}$$

LCB의 부호는 Midship에서 선수방향을 (+)로 두므로, 선미부 Cp변화량을 구할 때는 부호변환을 하여 사용한다.

$$\delta C_{Pf} = \frac{2\cdot[0.00989(0.57838 + 0.00734) - 0.04706(0.69489 + 0.00989)]}{0.57542 + 0.57838}$$

$$= -0.04745 //$$

$$\delta C_{Pa} = \frac{2\cdot[0.00989(0.57542 - 0.00734) + 0.04706(0.69489 + 0.00989)]}{0.57542 + 0.57838}$$

$$= 0.06723 //$$

선형 변환 방법

"1-C_p" Variation 방법 예제

질문 2) 질문 1과 같으며, 단 LCB를 2m 선미 쪽으로 이동한다.

Given :

LBP = 85m, Bmld = 17.4m, T mld = 4.81m

전반부 parallel midship body : 4.25m

후반부 parallel midship body : 5.30m

station별 횡단면적 값

$\sum ④_f = 9.59788$

$\sum ④_a = 10.33043$

$\sum ④ = 19.92831$

1) $C_P = 0.69489$, $\delta C_p = 0.00989$

2) $C_{P_f} = 0.70106$, $C_{P_a} = 0.68870$

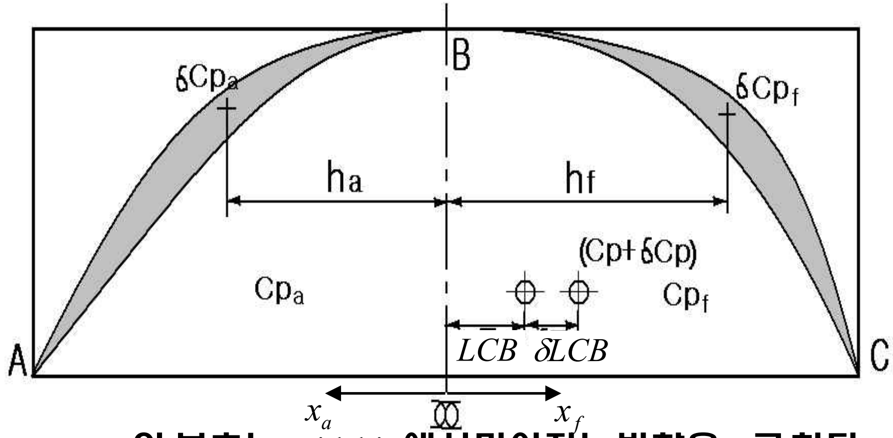
3) $LCB = 0.00734$, $\delta LCB = -0.04706$

4) $\bar{x}_f = 0.37732$, $\bar{x}_a = 0.36928$

5) $h_f = 0.44364$, $h_a = 0.57839$

6) $\delta C_{Pf} = -0.04745$, $\delta C_{Pa} = 0.06723$

7) $\delta x_f =$?, $\delta x_a =$?



x_a, x_f의 부호는 Midship에서 멀어지는 방향을 + 로 한다.

7) 1-Cp변환 방법의 횡단면의 이동거리 식을 바탕으로 δx 를 구한다.

$$\delta x_{f,a} = \frac{\delta C_{P_{f,a}}}{1 - C_{P_{f,a}}}\left(1 - x_{f,a}\right)$$

부호: Midship을 기준으로 선수부(−)이동, 선미부(+)이동
→ LCB가 선미로 이동함

$$\delta x_f = \frac{-0.04745}{1-0.70106}\left(1 - x_f\right) = -0.15874(1-x)$$

$$\delta x_a = \frac{0.06723}{1-0.68870}\left(1 - x_f\right) = 0.21595(1-x)$$

7) $\delta x_f = -0.15874(1-x)$, $\delta x_a = 0.21595(1-x)$

Linked slide

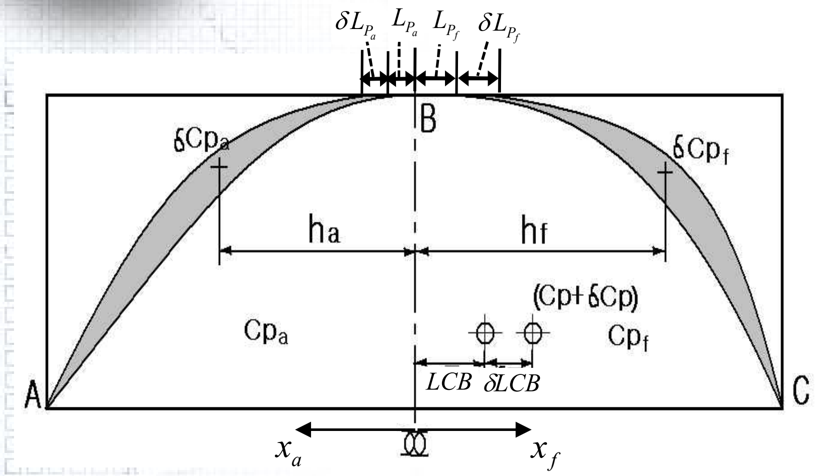
선형 변환 방법
"1-C_p" Variation 방법

참고 문헌: Lackenby, On The Systematic Geometrical Variation of ship forms, 1950, RINA , p.290, 291

$$\delta C_{Pf} = \frac{2\left[\delta C_P\left(\boxed{h_a} + LCB\right) + \delta LCB\left(C_P + \delta C_P\right)\right]}{h_f + h_a}$$

$$\delta C_{Pa} = \frac{2\left[\delta C_P\left(\boxed{h_f} - LCB\right) - \delta LCB\left(C_P + \delta C_P\right)\right]}{h_f + h_a}$$

$h_{f,a}$ 는 어떻게 구할까?



x_a, x_f의 부호는 Midship에서 멀어지는 방향을 + 로 한다.

✓ $h_{f,a}$ 구하기

Given: $C_{P_{f,a}}$, $\bar{x}_{f,a}$

Find: Midship으로부터 $\delta C_{P_{f,a}}$ 의 중심까지의 거리 $h_{f,a}$

$$h_{f,a} = \frac{C_{P_{f,a}}\left(1 - 2\bar{x}_{f,a}\right)}{1 - C_{P_{f,a}}} + \cancel{\frac{\delta C_{P_{f,a}}}{1 - C_{P_{f,a}}}\left[1 - 2C_{P_{f,a}}\left(1 - \bar{x}_{f,a}\right)\right]}$$

$$\boxed{h_{f,a} \approx \frac{C_{P_{f,a}}\left(1 - 2\bar{x}_{f,a}\right)}{1 - C_{P_{f,a}}}}$$

❖ 위 사항에 대한 유도는 참고 문헌을 참고할 것

$$C_P = C_b / C_m$$

δC_P : C_P의 변화량

x : Midship으로부터 임의의 횡단면까지의 거리

δx : Midship으로부터 거리 x에 위치한 횡단면이 이동한 거리, 즉, δC_P를 만족하는 횡단면의 이동 거리

h : Midship으로부터 δC_P의 중심까지의 거리

L_P :Parallel Middle Body (횡단면적이 같은 부분의 선박의 길이)

δL_P : L_P의 변화량

$\bar{x}$:Midship으로부터 반폭선형의 도심까지의 거리

y : x에 위치한 횡단면의 면적비, 이때 면적비은 중앙부 횡단면적으로 나눈 값

LCB 추정식

•LCB는 선수와 선미의 배수량의 균형을 나타내는 인자임.
(CP-Curve와 더불어 배의 길이방향으로의 배수량의 분포를 결정함)

•선미부 C_{BA}는 조종성능에 큰 영향을 미침(0.76이하로 하는 것이 바람직)

•선수형상: 조파 저항에 주로 영향

•선미 형상: 점성저항 및 추진성능에 주로 영향

⇒ 비대선: LCB를 선수 쪽에 배치
날씬한 선박: LCB를 중앙 or 선미 쪽에 배치

• C_{BA}를 0.76이하로 하는 LCB 추정식:

$$C_{PA} = C_P - 0.0215 \cdot LCB$$

• Cb가 0.8~0.85 정도의 저속 비대선의 경우:

LCB는 3.5~4.0 %

• Lap/Keller추정식:

$$LCB[\%L] = 13.33C_B - 9.0$$

LCB 추정 시, 기준선을 통해 구한 Correction factor를 반영한다.

$$\frac{LCB_{\text{기,실}}}{LCB_{\text{기,추}}} = C_{corr.}$$

$$LCB_{\text{설,추}2} = C_{corr.} \cdot LCB_{\text{설,추}1}$$

$LCB_{\text{기,추}}$:추정식으로 계산한 기준선의 LCB값
$LCB_{\text{기,실}}$:기준선 자료상의 실제 LCB값
$C_{corr.}$: Correction factor
$LCB_{\text{설,추}1}$:추정식으로 계산한 설계선의 LCB값
$LCB_{\text{설,추}2}$: $LCB_{\text{설,추}1}$의 추정값에 기준선에서 구한 Correction factor를 곱한 값

선형 변환 방법

"Lackenby 방법" – <Special Case 1>

"Lackenby 방법" <General Case>

$$\delta x_{f,a} = (1 - x_{f,a})\left\{\frac{\delta L_{p_{f,a}}}{1 - L_{p_{f,a}}} + \frac{x_{f,a} - L_{p_{f,a}}}{A_{f,a}}\left[\delta C_{P_{f,a}} - \delta L_{p_{f,a}}\frac{(1 - C_{P_{f,a}})}{(1 - L_{p_{f,a}})}\right]\right\}$$

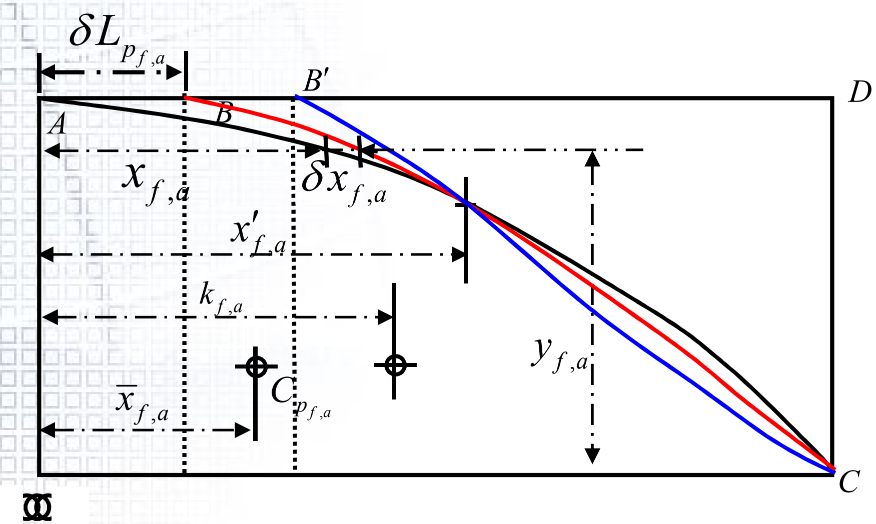
$$,(A = C_{P_{f,a}}(1 - 2\bar{x}_{f,a}) - L_{p_{f,a}}(1 - C_{P_{f,a}}))$$

"1-Cp"방법

$$\delta x_{f,a} = \frac{\delta C_{P_{f,a}}}{1 - C_{P_{f,a}}}(1 - x_{f,a})$$

Given: $C_{P_{f,a}}$, $\boxed{(\delta C_{P_{f,a}} = 0), (L_{P_{f,a}} = 0)}$, $\delta L_{P_{f,a}}$, $\bar{x}_{f,a}$

Find: $\delta x_{f,a}$



$C_P = C_b / C_m$

참고 문헌: Lackenby, On The Systematic Geometrical Variation of ship forms, 1950, RINA , p.292

<Special Case 1>

Basis Form: No parallel middle in the half-body, $(L_{p_{f,a}} = 0)$

Derived From: Required to introduce parallel middle body equal to $\boldsymbol{\delta L_{p,f,a}}$ keeping $\boldsymbol{C_{p,f,a}}$ constant

①

$$\delta x_{f,a} = \delta L_{p_{f,a}} \cdot (1 - x_{f,a})\left[1 - \frac{x_{f,a} \cdot (1 - C_{p_{f,a}})}{C_{p_{f,a}} \cdot (1 - 2\bar{x}_{f,a})}\right]$$

② **변형된 곡선은 아래 점에서 교차한다.**

$$x'_{f,a} = \frac{C_{p_{f,a}} \cdot (1 - 2\bar{x}_{f,a})}{1 - C_{p_{f,a}}}$$

③ **도심 $\bar{x}$ 의 종방향 변화량,** $\delta\bar{x}$

$$\delta\bar{x}_{f,a} = -\delta L_{p_{f,a}} \cdot \left[\frac{(1 - C_{p_{f,a}}) \cdot (2\bar{x}_{f,a} - 3k_{f,a}{}^2)}{C_{p_{f,a}} \cdot (1 - 2\bar{x}_{f,a})} - (1 - 2\bar{x}_{f,a})\right]$$

$k_{f,a}$: 기준선의 $C_{p_{f,a}}$ 에서 곡률 반경(2차 모멘트의 중심)

δC_p : C_p의 변화량

x : Midship으로부터 임의의 횡단면까지의 거리

δx : *Midship*으로부터 거리 x에 위치한 횡단면이 이동한 거리, 즉, δC_p를 만족하는 횡단면의 이동 거리

h : *Midship*으로부터 δC_p의 중심까지의 거리

L_p :Parallel Middle Body (횡단면적이 같은 부분의 선박의 길이)

δL_p : L_p의 변화량

$\bar{x}$:Midship으로부터 반폭선형의 도심까지의 거리

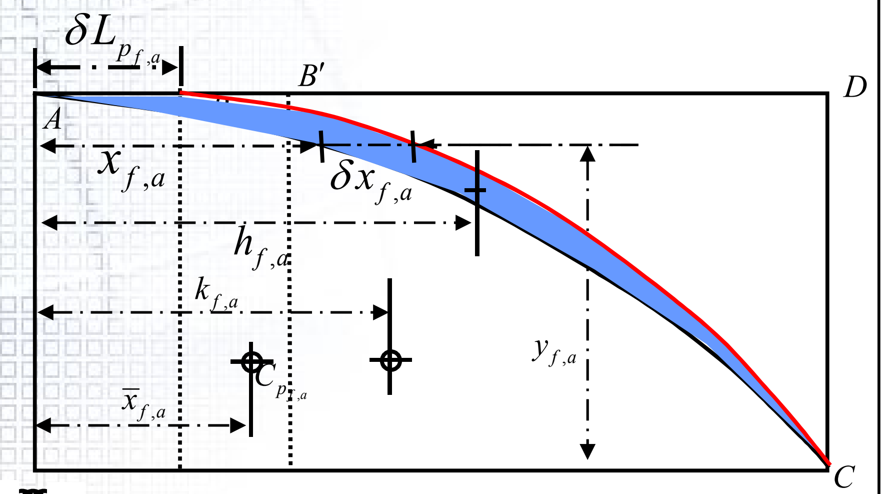
y : x에 위치한 횡단면의 면적비, 이때 면적비은 중앙부 횡단면적으로 나눈 값

선형 변환 방법

"Lackenby 방법" – ‹Special Case 2›

Given: $C_{P_{f,a}}, \delta C_{P_{f,a}}, \boxed{(L_{P_{f,a}}=0)}, \delta L_{P_{f,a}}, \bar{x}_{f,a}$

Find: $\delta x_{f,a}$



$C_P = C_b / C_m$

δC_P : C_P의 변화량

x : Midship으로부터 임의의 횡

δx : Midship으로부터 거리 x에

즉, δC_P를 만족하는 횡단

h : Midship으로부터 δC_P의 중

"Lackenby 방법" <General Case>

$$\delta x_{f,a} = (1-x_{f,a})\left\{\frac{\delta L_{P_{f,a}}}{1-L_{P_{f,a}}} + \frac{x_{f,a}-L_{P_{f,a}}}{A_{f,a}}\left[\delta C_{P_{f,a}} - \delta L_{P_{f,a}}\frac{(1-C_{P_{f,a}})}{(1-L_{P_{f,a}})}\right]\right\}$$

$$,(A = C_{P_{f,a}}(1-2\bar{x}_{f,a}) - L_{P_{f,a}}(1-C_{P_{f,a}}))$$

"1-Cp"방법

$$\delta x_{f,a} = \frac{\delta C_{P_{f,a}}}{1-C_{P_{f,a}}}(1-x_{f,a})$$

참고 문헌: Lackenby, On The Systematic Geometrical Variation of ship forms, 1950, RINA , p.293

<Special Case 2>

Basis Form: No parallel middle in the half-body $,(L_{P_{f,a}}=0)$

Derived From: Required to introduce an amount of parallel middle body equal to $\delta L_{p,f,a}$ change $C_{p,f,a}$ by $\delta C_{p,f,a}$

① $$\delta x_{f,a} = (1-x_{f,a})\left[\delta L_{P_{f,a}} + \frac{\delta C_{P_{f,a}} - \delta L_{P_{f,a}}(1-C_{P_{f,a}})\cdot x_{f,a}}{C_{P_{f,a}}\cdot(1-2\bar{x}_{f,a})}\right]$$

② $\delta C_{P_{f,a}}$ **구하기**

Given: $C_P,\ \delta C_P,\ h_{a,f},\ LCB,\ \delta LCB$

Find: $\delta C_{P_{f,a}}$

$$\delta C_{Pf} = \frac{2[\delta C_P(h_a + LCB) + \delta LCB(C_P + \delta C_P)]}{h_f + h_a}$$

$$\delta C_{Pa} = \frac{2[\delta C_P(h_f - LCB) - \delta LCB(C_P + \delta C_P)]}{h_f + h_a}$$

비 선형 연립방정식을 풀어야 함

③ Midship으로부터 $\delta C_{P_{f,a}}$의 중심까지의 거리($h_{f,a}$) (근사식)

$$h_{f,a} = \frac{1 - \frac{\delta L_{P_{f,a}}}{\delta C_{P_{f,a}}}\cdot(1-C_{P_{f,a}})}{1-2\bar{x}_{f,a}}\cdot(2\bar{x}_{f,a} - 3k_{f,a}^2) + \frac{\delta L_{P_{f,a}}}{\delta C_{P_{f,a}}}\cdot C_{P_{f,a}}\cdot(1-2\bar{x}_{f,a})$$

④ $k_{f,a}$ **구하기**

$$k_{f,a} = \frac{I_{f,a}}{Area_{f,a}}$$

$k_{f,a}$: **반폭 선형의 Cp curve의 2차 면적모멘트의 길이방향 중심**

$I_{f,a}$: **반폭 선형의 Cp curve의 2차 면적모멘트**

$Area_{f,a}$: **반폭 선형의 Cp cruve의 면적**

선형 변환 방법

"Lackenby 방법" – <Special Case 3>

"Lackenby 방법" <General Case>

$$\delta x_{f,a} = (1-x_{f,a})\left\{\frac{\delta L_{p_{f,a}}}{1-L_{p_{f,a}}} + \frac{x_{f,a}-L_{p_{f,a}}}{A_{f,a}}\left[\delta C_{P_{f,a}} - \delta L_{p_{f,a}}\frac{(1-C_{P_{f,a}})}{(1-L_{p_{f,a}})}\right]\right\}$$

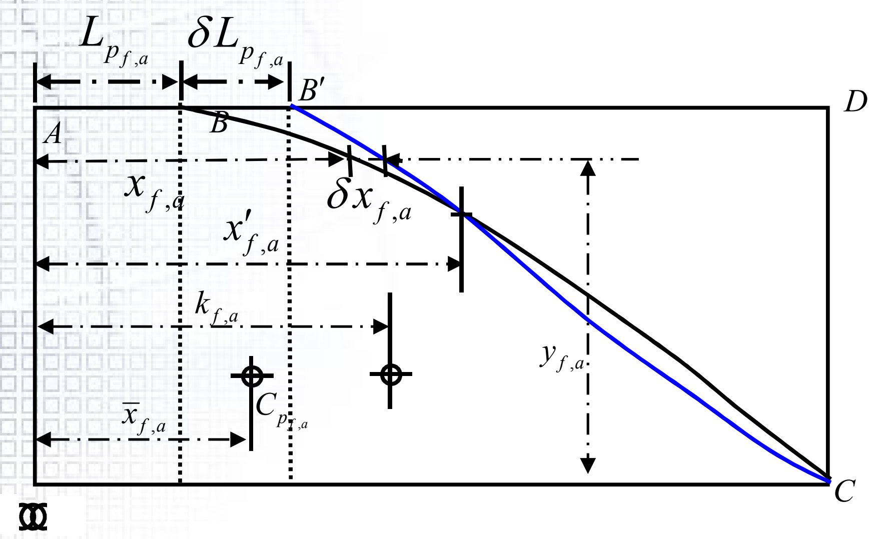
$$,(A = C_{P_{f,a}}(1-2\bar{x}_{f,a}) - L_{p_{f,a}}(1-C_{P_{f,a}}))$$

"1-Cp"방법

$$\delta x_{f,a} = \frac{\delta C_{P_{f,a}}}{1-C_{P_{f,a}}}(1-x_{f,a})$$

Given: $C_{P_{f,a}}, \boxed{(\delta C_{P_{f,a}} = 0)}, L_{P_{f,a}}, \delta L_{P_{f,a}}, \bar{x}_{f,a}$

Find: $\delta x_{f,a}$



$C_P = C_b / C_m$

<Special Case 3>

참고 문헌: Lackenby, On The Systematic Geometrical Variation of ship forms, 1950, RINA , p.293

Basis Form: parallel middle in the half-body equal to $L_{p,f,a}$

Derived From: Required to change $L_{p,f,a}$ to $\delta L_{p,f,a}$ keeping $C_{p,f,a}$ constant

①

$$\delta x_{f,a} = \frac{\delta L_{p_{f,a}}\cdot(1-x_{f,a})}{1-L_{p_{f,a}}}\left[1-\frac{(1-C_{p_{f,a}})\cdot(x_{f,a}-L_{p_{f,a}})}{C_{p_{f,a}}\cdot(1-2\bar{x}_{f,a})-L_{p_{f,a}}\cdot(1-C_{p_{f,a}})}\right]$$

② **변형된 곡선은 아래 점에서 교차한다.**

$$x'_{f,a} = \frac{C_{p_{f,a}}\cdot(1-2\bar{x}_{f,a})}{1-C_{p_{f,a}}}$$

③ **도심 $\bar{x}_{f,a}$의 종방향 변화량, $\delta\bar{x}_{f,a}$**

$$\delta\bar{x}_{f,a} = \frac{-\delta L_{p_{f,a}}}{1-L_{p_{f,a}}}\cdot\left[\frac{(1-C_{p_{f,a}})\cdot\left[2\bar{x}_{f,a}-3k_{f,a}^{\;2}-L_{p_{f,a}}(1-2\bar{x}_{f,a})\right]}{C_{p_{f,a}}\cdot(1-2\bar{x}_{f,a})-L_{p_{f,a}}\cdot(1-C_{p_{f,a}})}-(1-2\bar{x}_{f,a})\right]$$

$\delta C_P : C_P$의 변화량

$x :$ Midship으로부터 임의의 횡단면까지의 거리

$\delta x :$ Midship으로부터 거리 x에 위치한 횡단면이 이동한 거리, 즉, δC_P를 만족하는 횡단면의 이동 거리

$h :$ Midship으로부터 δC_P의 중심까지의 거리

L_P: Parallel Middle Body (횡단면적이 같은 부분의 선박의 길이)

$\delta L_P : L_P$의 변화량

$\bar{x}$: Midship으로부터 반폭선형의 도심까지의 거리

$y : x$에 위치한 횡단면의 면적비, 이때 면적비은 중앙부 횡단면적으로 나눈 값

$k_{f,a}$: 기준선의 $C_{p_{f,a}}$에서 곡률 반경(2차 모멘트의 중심)

선형 변환 방법

"Lackenby 방법" – <Special Case 4>

"Lackenby 방법" <General Case>

$$\delta x_{f,a} = (1-x_{f,a})\left\{\frac{\delta L_{p_{f,a}}}{1-L_{p_{f,a}}} + \frac{x_{f,a}-L_{p_{f,a}}}{A_{f,a}}\left[\delta C_{p_{f,a}} - \delta L_{p_{f,a}}\frac{(1-C_{p_{f,a}})}{(1-L_{p_{f,a}})}\right]\right\}$$

$$,(A = C_{p_{f,a}}(1-2\bar{x}_{f,a}) - L_{p_{f,a}}(1-C_{p_{f,a}}))$$

"1-Cp"방법

$$\delta x_{f,a} = \frac{\delta C_{P_{f,a}}}{1-C_{P_{f,a}}}(1-x_{f,a})$$

Given: $C_{P_{f,a}}, \delta C_{P_{f,a}}, L_{P_{f,a}}, \boxed{(\delta L_{P_{f,a}}=0)}, \bar{x}_{f,a}$

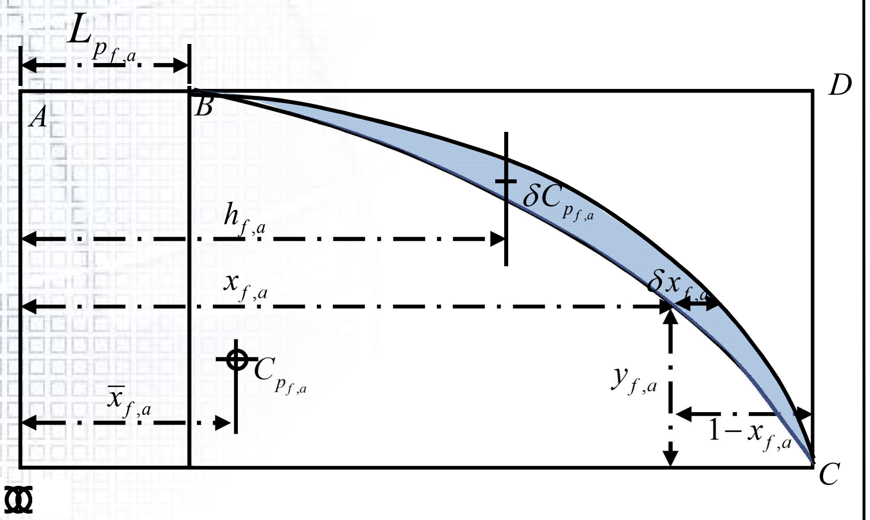
Find: $\delta x_{f,a}$

참고 문헌: Lackenby, On The Systematic Geometrical Variation of ship forms, 1950, RINA , p.294

<Special Case 4>

Basis Form: parallel middle in the half-body equal to $L_{p,f,a}$

Derived From: Required to change $L_{p,f,a}$ constant $,(\delta L_{p_{f,a}}=0)$
change $C_{p,f,a}$ by $\delta\ C_{p,f,a}$



①
$$\delta x_{f,a} = \frac{\delta C_{p_{f,a}}(1-x_{f,a})(x_{f,a}-L_{p_{f,a}})}{C_{p_{f,a}}\cdot(1-2\bar{x}_{f,a}) - L_{p_{f,a}}\cdot(1-C_{p_{f,a}})}$$

② $\delta C_{P_{f,a}}$ 구하기

Given: $C_P, \delta C_P, h_{a,f}, LCB, \delta LCB$

Find: $\delta C_{P_{f,a}}$

$$\delta C_{Pf} = \frac{2[\delta C_P(h_a + LCB) + \delta LCB(C_P + \delta C_P)]}{h_f + h_a}$$

$$\delta C_{Pa} = \frac{2[\delta C_P(h_f - LCB) - \delta LCB(C_P + \delta C_P)]}{h_f + h_a}$$

③ Midship으로부터 $\delta C_{P_{f,a}}$ 의 중심까지의 거리(hf,a) (근사식)

Given: $C_P, L_{P_{f,a}}, \bar{x}_{f,a}, k_{f,a}$

Find: $h_{a,f}$

$$h_{f,a} = \frac{C_p\cdot[2\bar{x}_{f,a} - 3k_{f,a}^2 - L_{p_{f,a}}\cdot(1-2\bar{x}_{f,a})]}{C_{p_{f,a}}\cdot(1-2\bar{x}_{f,a}) - L_{p_{f,a}}\cdot(1-C_{p_{f,a}})}$$

④ $k_{f,a}$ 구하기

$$k_{f,a} = \frac{I_{f,a}}{Area_{f,a}}$$

$k_{f,a}$: 반폭 선형의 Cp curve의 2차 면적모멘트의 길이방향 중심

$I_{f,a}$: 반폭 선형의 Cp curve의 2차 면적모멘트

$Area_{f,a}$: 반폭 선형의 Cp cruve의 면적

$C_P = C_b / C_m$

δC_P : C_P의 변화량

x : Midship으로부터 임의의 횡

δx : Midship으로부터 거리 x에

즉, δC_P를 만족하는 횡단

h : Midship으로부터 δC_P의 중

aralle

L_p의

idshi

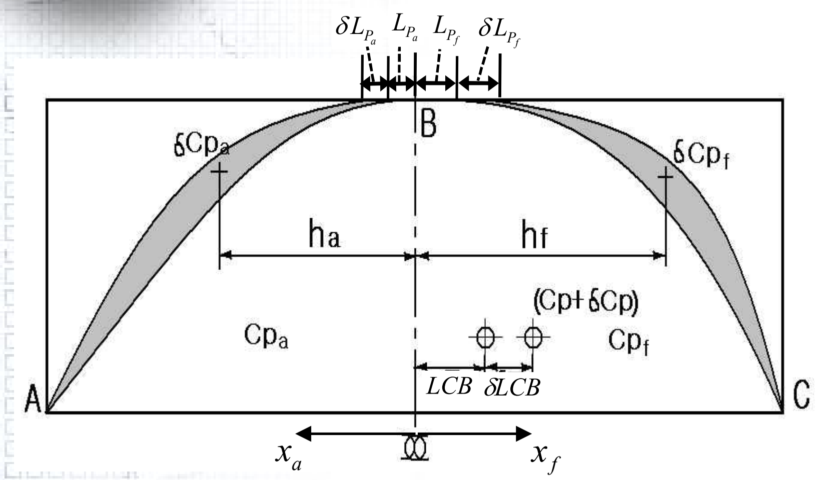
에 우

$k_{f,a}$: 기준선

값

선형 변환 방법
"1-Cp" 변환 방법

참고 문헌: Lackenby, On The Systematic Geometrical Variation of ship forms, 1950, RINA , p.290, 291



x_a, x_f의 부호는 Midship에서 멀어지는 방향을 + 로 한다.

✓ $\delta L_{P_{f,a}}$ 구하기

$$\delta x_{f,a} = \frac{\delta C_{P_{f,a}}}{1 - C_{P_{f,a}}}(1 - x_{f,a})$$

Given: $C_{P_{f,a}}, \delta C_{P_{f,a}}, L_{P_{f,a}}$

Find: 중앙평행부 길이의 변화량 $\delta L_{P_{f,a}}$

: $x_{f,a}$가 $L_{P_{f,a}}$ 인 경우로 두고 1-Cp방법을 사용

$$\delta L_{P_{f,a}} = \frac{\delta C_{P_{f,a}}}{1 - C_{P_{f,a}}}(1 - L_{P_{f,a}})$$

$$C_P = C_b / C_m$$

$\delta C_P : C_P$의 변화량

$x :$ Midship으로부터 임의의 횡단면까지의 거리

$\delta x :$ Midship으로부터 거리 x에 위치한 횡단면이 이동한 거리, 즉, δC_P를 만족하는 횡단면의 이동 거리

$h :$ Midship으로부터 δC_P의 중심까지의 거리

$L_P :$ Parallel Middle Body (횡단면적이 같은 부분의 선박의 길이)

$\delta L_P : L_P$의 변화량

$\bar{x} :$ Midship으로부터 반폭선형의 도심까지의 거리

$y : x$에 위치한 횡단면의 면적비, 이때 면적비은 중앙부 횡단면적으로 나눈 값

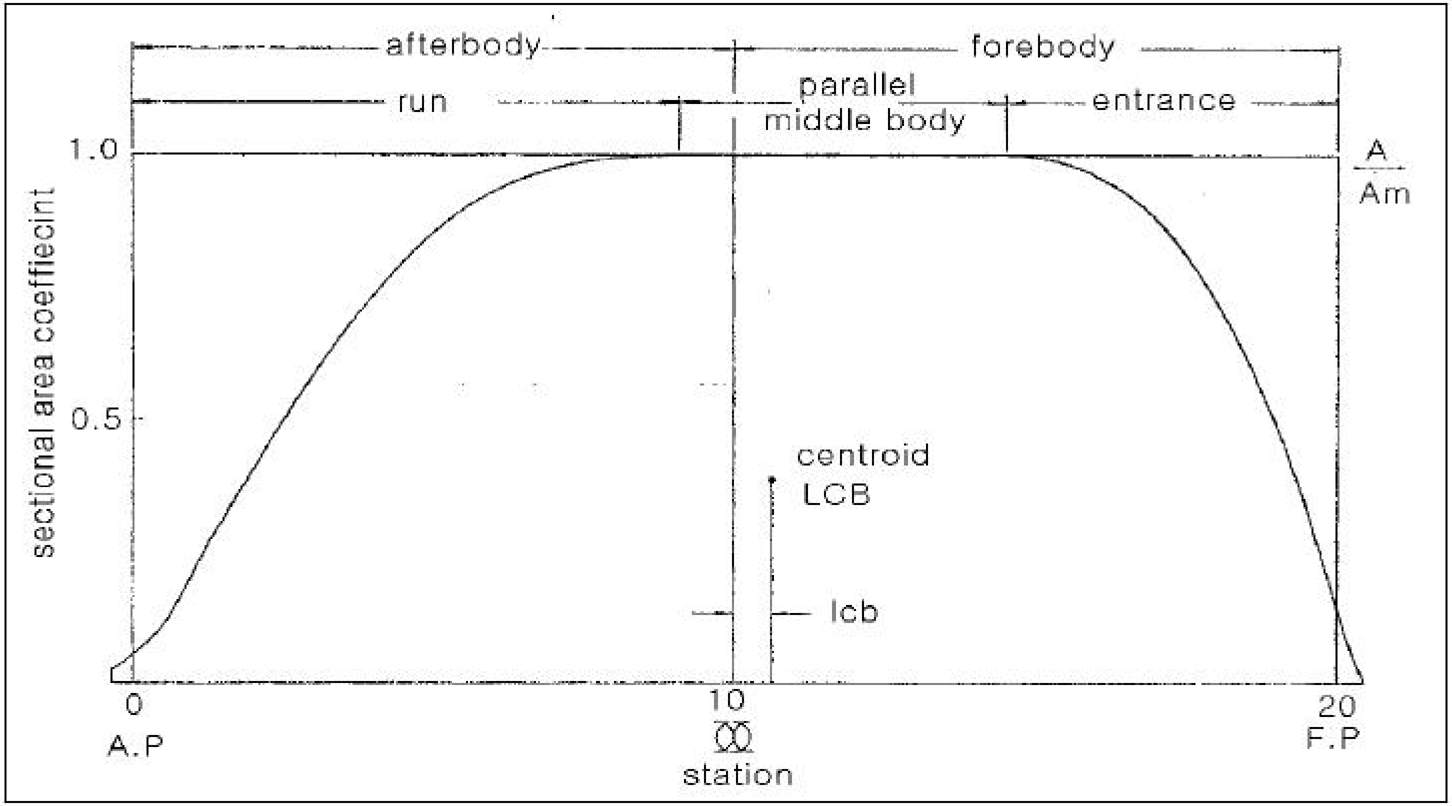
Term Project #3
Lackenby's C_P Variation

Advanced
Ship
Design
Automation
Laboratory

Term Project 3. Lackenby’ s C_p Variation
– 선형의 특성: 길이 방향 배수량 분포 곡선 C_p Curve

- 선체 중앙에서의 횡단면적을 1로 두었을 때, 길이방향으로 횡단면적의 크기를 plotting한 curve.
- 단면적 곡선 및 LCB로 대표되는 배 길이 방향으로의 배수량 분포를 나타냄

단면적 곡선(Section area curve or C_p Curve) 및 LCB



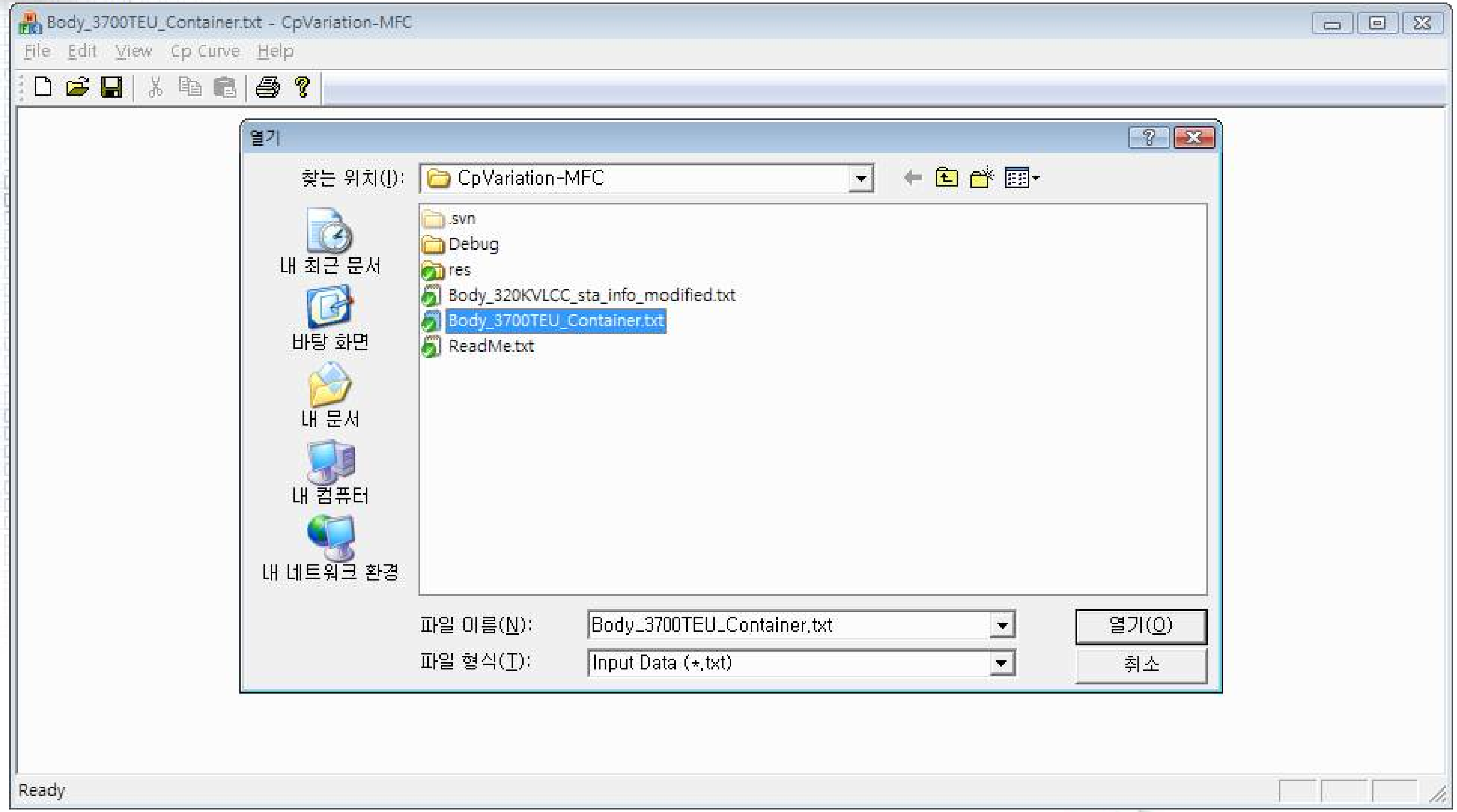
Term Project 3. Lackenby's C_p Variation
– 선형 변환 방법

- 조선소에서는 우수한 유사 실적선 선형을 선정하여, 설계선의 주요치수에 맞도록 변환(Variation)하여 선형 설계를 수행함
  → 기준선 선형의 유체역학적 특성을 살릴 수 있음

- C_p Variation 방법 :
  - 기존선형의 횡단면 형상의 모양을 그대로 유지하면서 단지 길이방향으로 그 횡단면 형상을 이동하여 수선면 아래의 배수량과 배수량 중심의 길이 방향 위치(LCB)를 변경
  - 1-C_p 변환방법
  - Lackenby 선형 Variation 방법
  - Swing method
  - Weighted modified swing method

Term Project 3. Lackenby's C_p Variation
– 프로그램 실행: 선형 정보 파일 Load

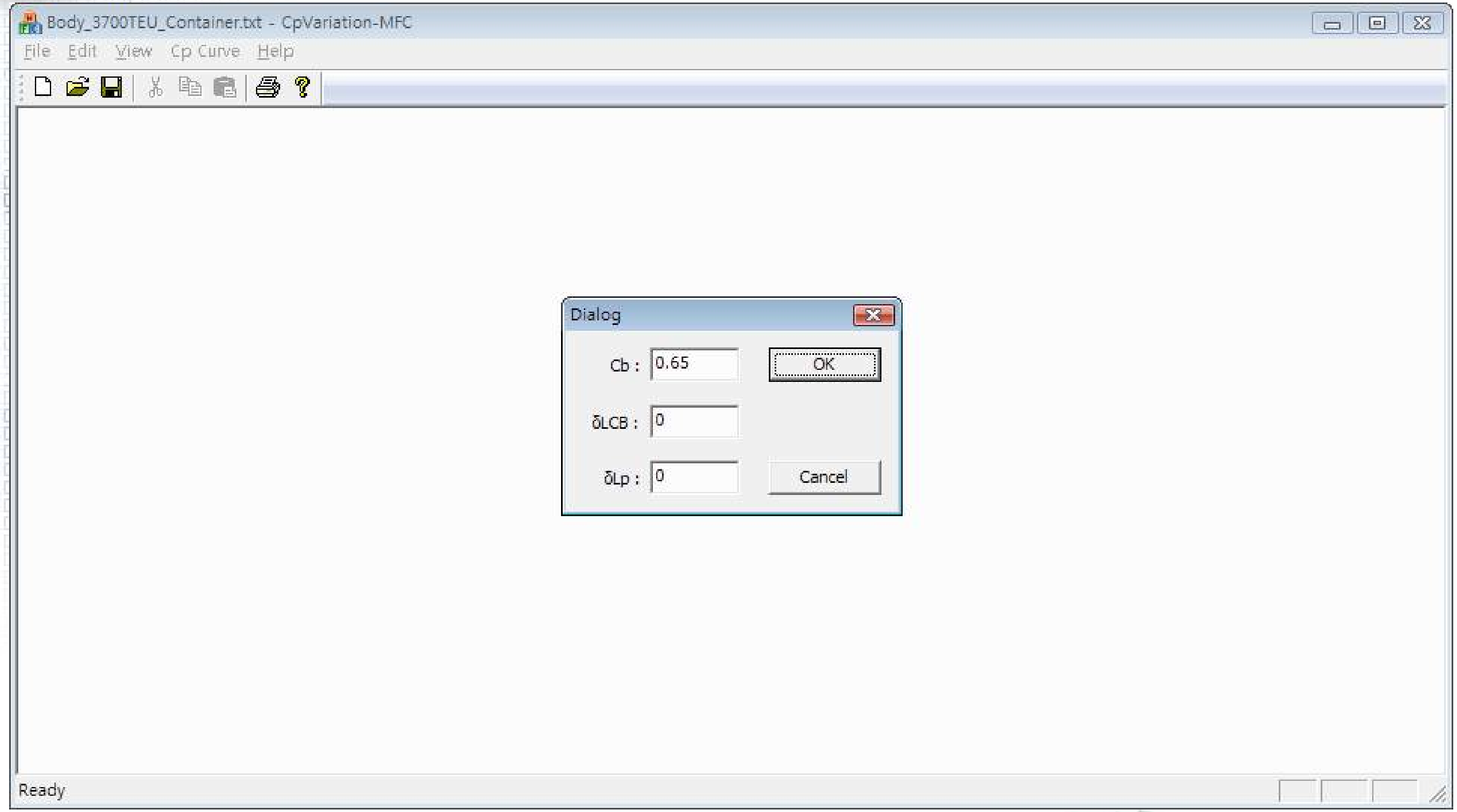
① 선형 단면 정보로 구성된 선형 정보 파일 Load



Term Project 3. Lackenby’ s C_p Variation

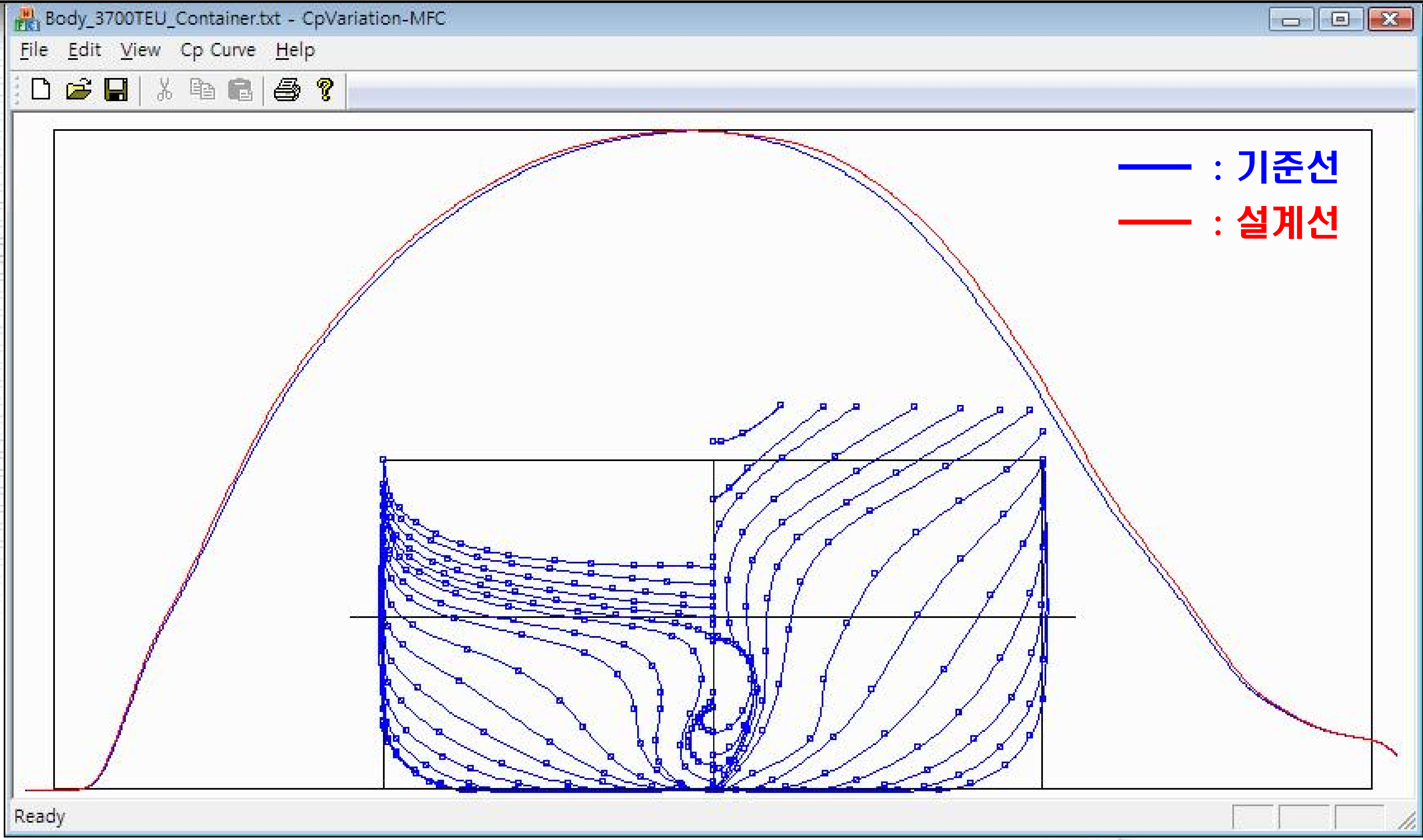
– 프로그램 실행: C_p Variation을 위한 데이터 입력

② Lackenby’s C_P Variation을 수행하기 위해 설계선의 C_B, δLCB, δL_P 입력



Term Project 3. Lackenby's C_p Variation
– 프로그램 실행: C_p Variation 결과

③ Lackenby's C_p Variation 수행 결과



Term Project 3. Lackenby's C_P Variation
– 프로그램 설명: Class 구조

C_P Variation
"CVar"

- 설계선의 C_B
- 설계선의 LCB
- 설계선의 L_P

기준선 데이터
(m_pShipB)

설계선 데이터
(m_pShipD)

선박 주요 정보
"CShip"

- LOA, LBP
- B, D, T_S
- C_B, C_M, C_P
- LCB
- Volume
- Displacement

선형 단면 정보
(m_pSection)

선형 단면 정보
"CSection"

- LBP, B, D, T_S
- Station No.
- Section Curve
- Section Area

Term Project 3. Lackenby' s C_p Variation
– 프로그램 설명: 'CVar' Class 구조

```
// member variables
// mother ship
CShip* m_pShipM;

// design ship
CShip* m_pShipD;

double m_fCpDelta;
double m_fCp_A;
double m_fCp_F;

double m_fLCBDelta;
double m_fXBar_A;
double m_fXBar_F;

double m_fA_A;
double m_fA_F;
double m_fB_A;
double m_fB_F;
double m_fC_A;
double m_fC_F;

double m_fCpDelta_A;
double m_fCpDelta_F;
double m_fLpDelta_A;
double m_fLpDelta_F;
```

```
// member functions

// input base ship data
void SetMotherShipData(CArchive& ar);
bool CalcCpCurveForMotherShip();

// draw curve
bool DrawCpCurveForMotherShip(CDC* pDC, CRect rect);
bool DrawBodyPlanForMotherShip(CDC* pDC, CRect rect);
bool DrawCpCurveForDesignShip(CDC* pDC, CRect rect);
bool DrawBodyPlanForDesignShip(CDC* pDC, CRect rect);

// Cp variation
bool SetDataForCpVar(double _D_Cb, double _LCBDelta, double
_LpDelta);
bool CalcAreaOfCpCurve();
bool CalcXBar();

bool CalcA();
bool CalcB();
bool CalcC();

bool CalcDeltaCp();
bool Variation();
```

Term Project 3. Lackenby’s C_p Variation
– 프로그램 설명: ‘CShip’ Class 구조

```
// member variables

// dimension
double m_fLOA;
double m_fLBP;
double m_fB;
double m_fD;
double m_fTs;

double m_fCb;
double m_fCm;
double m_fCp;
double m_fLCB;

double m_fVol;
double m_fDisp;
double m_fMaxArea;
double m_fLp_A;
double m_fLp_F;

// section
int m_nNumOfSec;
CSection* m_pSec;

// Cp Curve
HEC m_pCpCurve;
```

```
// member functions

bool GetShipDataFromFile(CArchive& ar);
bool CalcSectionArea();
bool CreateCpCurve();
bool DrawCpCurve(CDC* pDC, CRect rect);
bool DrawBodyPlane(CDC* pDC, CRect rect);
bool CpVariation(CpVar* pCpVar);
bool PrintText(CDC* pDC, CRect rect);
double GetAreaOfCpCurve(int _flag = ID_SHIP_ALL, int
_flag_moment = ID_AREA);

bool CalcVol();
bool CalcDisp();
bool CalcCoeff();
bool CalcLCB();
```

Term Project 3. Lackenby's C_p Variation
– 프로그램 설명: 'CSection' Class 구조

```
// member variables

// ship info.
double m_fLBP;
double m_fBmld;
double m_fDmld;
double m_fTmld;

// station number;
double m_fStation;

// position;
double m_fX;
VectorArr m_ptInput;
IntArr m_nIndexOfPointCurveCutted;

// section curve;
CurveArr m_pSecCurve;

// section area;
double m_fArea;
```

```
// member functions

bool SetSectionData(double _LBP, double _Bmld, double _Dmld,
double _Tmld, double _station);
bool SetSectionPoint(VectorArr& _ptArr, IntArr& _indexArr);
bool CreateSectionCurve();
bool CalcSectionArea();
bool DrawSectionCurve(CDC* pDC, CRect rect);
bool DrawSectionPoint(CDC* pDC, CRect rect);
bool CpVariation(CpVar* pCpVar);
```

Term Project 3. Lackenby's C_P Variation

- Lackenby's C_P Variation 과정

선형 데이터 입력

↓

기준선의 C_P, C_P 변화량 δC_P 계산

↓

전반부 $C_{P,f}$, 후반부 $C_{P,a}$ 계산

↓

LCB, δLCB 계산

↓

$\bar{x}$ 계산

↓

전반후, 후반부의 A, B, C 계산

↓

전반부 $C_{p,f}$ 변화량 $\delta C_{P,f}$ 와 후반부 $C_{p,f}$ 변화량 $\delta C_{P,a}$ 계산

↓

횡단면의 이동거리 식을 바탕으로 $\delta \bar{x}$ 를 계산

```
void CCpVariationMFCDoc::OnCpVariation()
{
    // TODO: Add your command handler code here
    if (m_pCpVar == NULL) return;

    double Cb_D = 0.0;
    double LCBDelta = 0.0;
    double LpDelta = 0.0;

    CInputDlg dlg;

    if ( dlg.DoModal() == IDOK )
    {
        Cb_D = dlg.m_fCb;
        LCBDelta = dlg.m_fLCB;
        LpDelta = dlg.m_fLp;

        m_pCpVar->SetDataForCpVar(Cb_D, LCBDelta, LpDelta);
        m_pCpVar->CalcCp();
        m_pCpVar->CalcXBar();
        m_pCpVar->CalcA();
        m_pCpVar->CalcB();
        m_pCpVar->CalcC();
        m_pCpVar->CalcDeltaCp();
        m_pCpVar->Variation();

        m_pView->Invalidate();
    }
}
```

Term Project 3. Lackenby's C_P Variation

– Lackenby's C_P Variation 과정

선형 데이터 입력

↓

기준선의 C_P, C_P 변화량 δC_P 계산

↓

전반부 $C_{P,f}$, 후반부 $C_{P,a}$ 계산

↓

LCB, δLCB 계산

↓

$\overline{x}$ 계산

↓

전반후, 후반부의 A, B, C 계산

↓

전반부 $C_{p,f}$ 변화량 $\delta C_{P,f}$ 와 후반부 $C_{p,f}$ 변화량 $\delta C_{P,a}$ 계산

↓

횡단면의 이동거리 식을 바탕으로 $\delta\overline{x}$ 를 계산

```
bool CpVar::CalcCpCurveForMotherShip()
{
    if (m_pShipM == NULL) return FALSE;

    m_pShipM->CalcSectionArea();
    m_pShipM->CreateCpCurve();

    // calculate volume
    m_pShipM->CalcVol();

    // calculate displacement
    m_pShipM->CalcDisp();

    // calculate coefficient
    m_pShipM->CalcCoeff();

    // calculate LCB
    m_pShipM->CalcLCB();

    return TRUE;
}
```

```
bool CShip::CalcVol()
{
    // check invalid condition
    if (m_pCpCurve == NULL) return false;

    //////////////
    //

    // set volume


    //
    //////////////

    return true;
}
```

- Volume은 Cp Curve의 면적을 이용하여 구할 수 있음
- Cp Curve의 면적을 구할 때 Scale에 주의할 것
- Cp Curve의 x축: 선박의 길이를 LBP/2로 나눈 것으로 설정
- Cp Curve의 y축: 최대 횡단면적을 1로 설정

Term Project 3. Lackenby's C_p Variation

– Lackenby's C_p Variation 과정

선형 데이터 입력

↓

기준선의 C_P, C_P 변화량 δC_P 계산

↓

전반부 $C_{P,f}$, 후반부 $C_{P,a}$ 계산

↓

LCB, δLCB 계산

↓

$\bar{x}$ 계산

↓

전반후, 후반부의 A, B, C 계산

↓

전반부 $C_{p,f}$ 변화량 $\delta C_{P,f}$ 와 후반부 $C_{p,f}$ 변화량 $\delta C_{P,a}$ 계산

↓

횡단면의 이동거리 식을 바탕으로 $\delta\bar{x}$ 를 계산

```
bool CpVar::CalcCpCurveForMotherShip()
{
    if (m_pShipM == NULL) return FALSE;

    m_pShipM->CalcSectionArea();
    m_pShipM->CreateCpCurve();

    // calculate volume
    m_pShipM->CalcVol();

    // calculate displacement
    m_pShipM->CalcDisp();

    // calculate coefficient
    m_pShipM->CalcCoeff();

    // calculate LCB
    m_pShipM->CalcLCB();

    return TRUE;
}
```

```
bool CShip::CalcDisp()
{
    // check invalid condition
    if (m_pCpCurve == NULL) return false;

    ///////////////////////////////////////////////////////////////////
    //
    // set displacement

    //
    ///////////////////////////////////////////////////////////////////

    return true;
}
```

- Displacement = Volume * 해수의 밀도
- 해수의 밀도 = 1.025 ton/m^3

Term Project 3. Lackenb

– Lackenby's C_P Variation 과정

선형 데이터 입력

↓

기준선의 C_P, C_P 변화량 δC_P 계산

↓

전반부 $C_{P,f}$, 후반부 $C_{P,a}$ 계산

↓

LCB, δLCB 계산

↓

$\bar{x}$ 계산

↓

전반후, 후반부의 A, B, C 계산

↓

전반부 $C_{p,f}$ 변화량 $\delta C_{P,f}$ 와 후반부 $C_{p,f}$ 변화량 $\delta C_{P,a}$ 계산

↓

횡단면의 이동거리 식을 바탕으로 $\delta\bar{x}$ 를 계산

```
bool CpVar::CalcCpCurveForMotherShip()
{
    if (m_pShipM == NULL) return FALSE;

    m_pShipM->CalcSectionArea();
    m_pShipM->CreateCpCurve();

    // calculate volume
    m_pShipM->CalcVol();

    // calculate displacement
    m_pShipM->CalcDisp();

    // calculate coefficient
    m_pShipM->CalcCoeff();

    // calculate LCB
    m_pShipM->CalcLCB();

    return TRUE;
}
```

```
bool CShip::CalcCoeff()
{
    // check invalid condition
    if (m_pCpCurve == NULL) return false;

    // calculate volume
    CalcVol();

    //////////////////////////////////////////////////////////////////////
    //

    // calculate Cb

    // calculate Cm

    // calculate Cp

    //
    //////////////////////////////////////////////////////////////////////

    return true;
}
```

$$C_B = \frac{\nabla}{L \cdot B \cdot T}$$

$$C_M = \frac{\text{중앙평행부의 횡단면적}}{B \cdot T}$$

$$C_P = \frac{C_B}{C_M}$$

Term Project 3. Lackenby's C_P Variation

– Lackenby's C_P Variation 과정

선형 데이터 입력

↓

기준선의 C_P, C_P 변화량 δC_P 계산

↓

전반부 $C_{P,f}$, 후반부 $C_{P,a}$ 계산

↓

LCB, δLCB 계산

↓

$\bar{x}$ 계산

↓

전반후, 후반부의 A, B, C 계산

↓

전반부 $C_{p,f}$ 변화량 $\delta C_{P,f}$ 와 후반부 $C_{p,f}$ 변화량 $\delta C_{P,a}$ 계산

↓

횡단면의 이동거리 식을 바탕으로 $\delta\bar{x}$ 를 계산

```
bool CpVar::CalcCpCurveForMotherShip()
{
    if (m_pShipM == NULL) return FALSE;

    m_pShipM->CalcSectionArea();
    m_pShipM->CreateCpCurve();

    // calculate volume
    m_pShipM->CalcVol();

    // calculate displacement
    m_pShipM->CalcDisp();

    // calculate coefficient
    m_pShipM->CalcCoeff();

    // calculate LCB
    m_pShipM->CalcLCB();
```

```
bool CShip::CalcLCB()
{
    // check invalid condition
    if (m_pCpCurve == NULL) return false;

    double moment1st = 0.0;
    double area = 0.0;
    double LCB = 0.0;


    ////////////////////////////////////////////////////////////////////
    //
    // calculate L
    //
    ///////////////////

    return true;
}
```

• LCB = Cp Curve의 면적 1차 모멘트 / 면적

$$LCB = \frac{\text{길이 방향 1차 모멘트}}{\nabla}$$

Term Project 3. Lackenby's C_P Variation

- Lackenby's C_P Variation 과정

1. 선형 데이터 입력
2. 기준선의 C_P, C_P 변화량 δC_P 계산
3. 전반부 $C_{P,f}$, 후반부 $C_{P,a}$ 계산
4. LCB, δLCB 계산
5. $\bar{x}$ 계산
6. 전반후, 후반부의 A, B, C 계산
7. 전반부 $C_{p,f}$ 변화량 $\delta C_{P,f}$ 와 후반부 $C_{p,f}$ 변화량 $\delta C_{P,a}$ 계산
8. 횡단면의 이동거리 식을 바탕으로 $\delta\bar{x}$ 를 계산

$$C_{P_{f,a}} = \frac{C_{B_{f,a}}}{C_M} = \frac{\nabla_{f,a}}{\frac{L}{2}BT}\frac{1}{C_M}$$

```
bool CpVar::CalcCp()
{
    if (m_pShipM == NULL) return FALSE;

    ////////////////////////////////////////////////////////////////////
    //

    // calculate Cp (aft, fore)


    //
    //////////////

    return TRUE;
}
```

- 전반후, 후반부 C_P는 C_P Curve의 전반후, 후반부 면적으로 구할 수 있음

Term Project 3. Lackenby's C_P Variation
- Lackenby's C_P Variation 과정

선형 데이터 입력

↓

기준선의 C_P, C_P 변화량 δC_P 계산

↓

전반부 $C_{P,f}$, 후반부 $C_{P,a}$ 계산

↓

LCB, δLCB 계산

↓

$\bar{x}$ 계산

↓

전반후, 후반부의 A, B, C 계산

↓

전반부 $C_{p,f}$ 변화량 $\delta C_{P,f}$ 와 후반부 $C_{p,f}$ 변화량 $\delta C_{P,a}$ 계산

↓

횡단면의 이동거리 식을 바탕으로 $\delta\bar{x}$ 를 계산

$$\bar{x}_{f,a} = \frac{\text{길이방향1차 모멘트}_{f,a}}{\Delta_{f,a}}$$

```
bool CpVar::CalcXBar()
{
    if (m_pShipM == NULL) return FALSE;

    ////////////////////////////////////////////////////////////////////
    //
    // calculate x bar (aft, fore)

    //
    ////////////////////////////////////////////////////////////////////

    return TRUE;
}
```

Term Project 3. Lackenby's C_p Variation
- Lackenby's C_p Variation 과정

선형 데이터 입력

↓

기준선의 C_P, C_P 변화량 δC_P 계산

↓

전반부 $C_{P,f}$, 후반부 $C_{P,a}$ 계산

↓

LCB, δLCB 계산

↓

$\overline{x}$ 계산

↓

전반후, 후반부의 A, B, C 계산

↓

전반부 $C_{p,f}$ 변화량 $\delta C_{P,f}$ 와 후반부 $C_{p,f}$ 변화량 $\delta C_{P,a}$ 계산

↓

횡단면의 이동거리 식을 바탕으로 $\delta\overline{x}$ 를 계산

$$A_{f,a} = C_{P_{f,a}}(1 - 2\overline{x}_{f,a}) - L_{p_{f,a}}(1 - C_{P_{f,a}})$$

```
bool CpVar::CalcA()
{
    // check invalid condition
    if (m_pShipM == NULL) return FALSE;

    ////////////////////////////////////////////////////////////////////////
    //

    // calculate A (aft, fore)


    //
    ////////////////////////////////////////////////////////////////////////

    return TRUE;
}
```

Term Project 3. Lackenby’ s C_p Variation

- Lackenby's C_p Variation 과정

선형 데이터 입력

↓

기준선의 C_P, C_p 변화량 δC_p 계산

↓

전반부 $C_{P,f}$, 후반부 $C_{P,a}$ 계산

↓

LCB, δLCB 계산

↓

$\bar{x}$ 계산

↓

전반후, 후반부의 A, B, C 계산

↓

전반부 $C_{p,f}$ 변화량 $\delta C_{P,f}$ 와 후반부 $C_{p,f}$ 변화량 $\delta C_{P,a}$ 계산

↓

횡단면의 이동거리 식을 바탕으로 $\delta\bar{x}$ 를 계산

$$B_{f,a} = \frac{C_{p_{f,a}} \cdot \left[2\bar{x}_{f,a} - 3k_{f,a}{}^{2} - L_{p_{f,a}} \cdot (1 - 2\bar{x}_{f,a}) \right]}{A_{f,a}}$$

$$k_{f,a} = \frac{I_{f,a}}{Area_{f,a}}$$

$k_{f,a}$: 반폭 선형의 Cp curve의 2차 면적모멘트의 길이방향 중심

$I_{f,a}$: 반폭 선형의 Cp curve의 2차 면적모멘트

$Area_{f,a}$: 반폭 선형의 Cp cruve의 면적

```
bool CpVar::CalcB()
{
    // initialize
    double k_A = 0.0;
    double k_F = 0.0;
    double LBP = 0.0;
    double moment2nd = 0.0;
    double area = 0.0;

    // set value
    LBP = m_pShipM->GetLBP();


    ////////////////////////////////////////////////////////////////
    //

    // calculate k (center of 2nd moment) (aft, fore)


    // calculate B


    //
    ////////////////////////////////////////////////////////////////

    return TRUE;
}
```

Term Project 3. Lackenby’ s C_P Variation

- Lackenby's C_P Variation 과정

선형 데이터 입력

↓

기준선의 C_P, C_P 변화량 δC_P 계산

↓

전반부 $C_{P,f}$, 후반부 $C_{P,a}$ 계산

↓

LCB, δLCB 계산

↓

$\bar{x}$ 계산

↓

전반후, 후반부의 A, B, C 계산

↓

전반부 $C_{p,f}$ 변화량 $\delta C_{P,f}$ 와 후반부 $C_{p,f}$ 변화량 $\delta C_{P,a}$ 계산

↓

횡단면의 이동거리 식을 바탕으로 $\delta\bar{x}$ 를 계산

$$C_{f,a} = \frac{B_{f,a}(1 - C_{P_{f,a}}) - C_{P_{f,a}}(1 - 2\bar{x})}{1 - L_{p_{f,a}}}$$

```
bool CpVar::CalcC()
{
    // check invalid condition
    if (m_pShipM == NULL) return false;

    ////////////////////////////////////////////////////////////////////////
    //

    // calculate C (aft, fore)


    //
    ////////////////////////////////////////////////////////////////////////

    return true;
}
```

Term Project 3. Lackenby's C_P Variation

- Lackenby's C_P Variation 과정

1. 선형 데이터 입력
2. 기준선의 C_P, C_P 변화량 δC_P 계산
3. 전반부 $C_{P,f}$, 후반부 $C_{P,a}$ 계산
4. LCB, δLCB 계산
5. $\bar{x}$ 계산
6. 전반후, 후반부의 A, B, C 계산
7. **전반부 $C_{p,f}$ 변화량 $\delta C_{P,f}$ 와 후반부 $C_{p,f}$ 변화량 $\delta C_{P,a}$ 계산**
8. 횡단면의 이동거리 식을 바탕으로 $\delta\bar{x}$ 를 계산

$$\delta C_{p_f} = \frac{2\left[\delta C_p \cdot (B_a + LCB) + \delta LCB \cdot (C_P + \delta C_P)\right] + C_f \cdot \delta L_{p_f} - C_a \cdot \delta L_{p_a}}{B_f + B_a}$$

$$\delta C_{p_a} = \frac{2\left[\delta C_p \cdot (B_f - LCB) - \delta LCB \cdot (C_P + \delta C_P)\right] - C_f \cdot \delta L_{p_f} + C_a \cdot \delta L_{p_a}}{B_f + B_a}$$

```
bool CpVar::CalcDeltaCp()
{
    if (m_pShipM == NULL) return FALSE;


    ///////////////////////////////////////////////////////////////////////////
    //

    // calculate delta Cp (aft, fore)


    //
    ///////////////////////////////////////////////////////////////////////////

    return TRUE;
}
```

Term Project 3. Lackenby's C_P Variation
– Lackenby's C_P Variation 과정

선형 데이터 입력

↓

기준선의 C_P, C_P 변화량 δC_P 계산

↓

전반부 $C_{P,f}$, 후반부 $C_{P,a}$ 계산

↓

LCB, δLCB 계산

↓

$\bar{x}$ 계산

↓

전반후, 후반부의 A, B, C 계산

↓

전반부 $C_{p,f}$ 변화량 $\delta C_{P,f}$ 와 후반부 $C_{p,f}$ 변화량 $\delta C_{P,a}$ 계산

↓

횡단면의 이동거리 식을 바탕으로 $\delta\bar{x}$ 를 계산

$$\delta x_{f,a} = (1 - x_{f,a})\left\{ \frac{\delta L_{P_{f,a}}}{1 - L_{P_{f,a}}} + \frac{x_{f,a} - L_{P_{f,a}}}{A_{f,a}} [\delta C_{P_{f,a}} - \delta L_{P_{f,a}} \frac{(1 - C_{P_{f,a}})}{(1 - L_{P_{f,a}})}] \right\}$$

```
bool CSection::CpVariation(CpVar* pCpVar)
{
    if (m_ptInput.GetCount() < 0) return FALSE;

    double delta = 0.0;
    double x = 0.0;
    double deltaLp = 0.0;
    double Lp = 0.0;
    double A = 0.0;
    double deltaCp = 0.0;
    double Cp = 0.0;

    // variation for AP
    if ( m_fStation - STATION_MAX / 2.0 < TOLERANCE )
    {
        ////////////////////////////////////////////////////////////////////
        //

        // set parameter


        // calculate delta


        //
        ////////////////////////////////////////////////////////////////////

        x += delta;
        m_fStation = STATION_MAX / 2.0 - x * STATION_MAX / 2.0;
    }
```