Hull Form Design
(선형설계)

2008.5

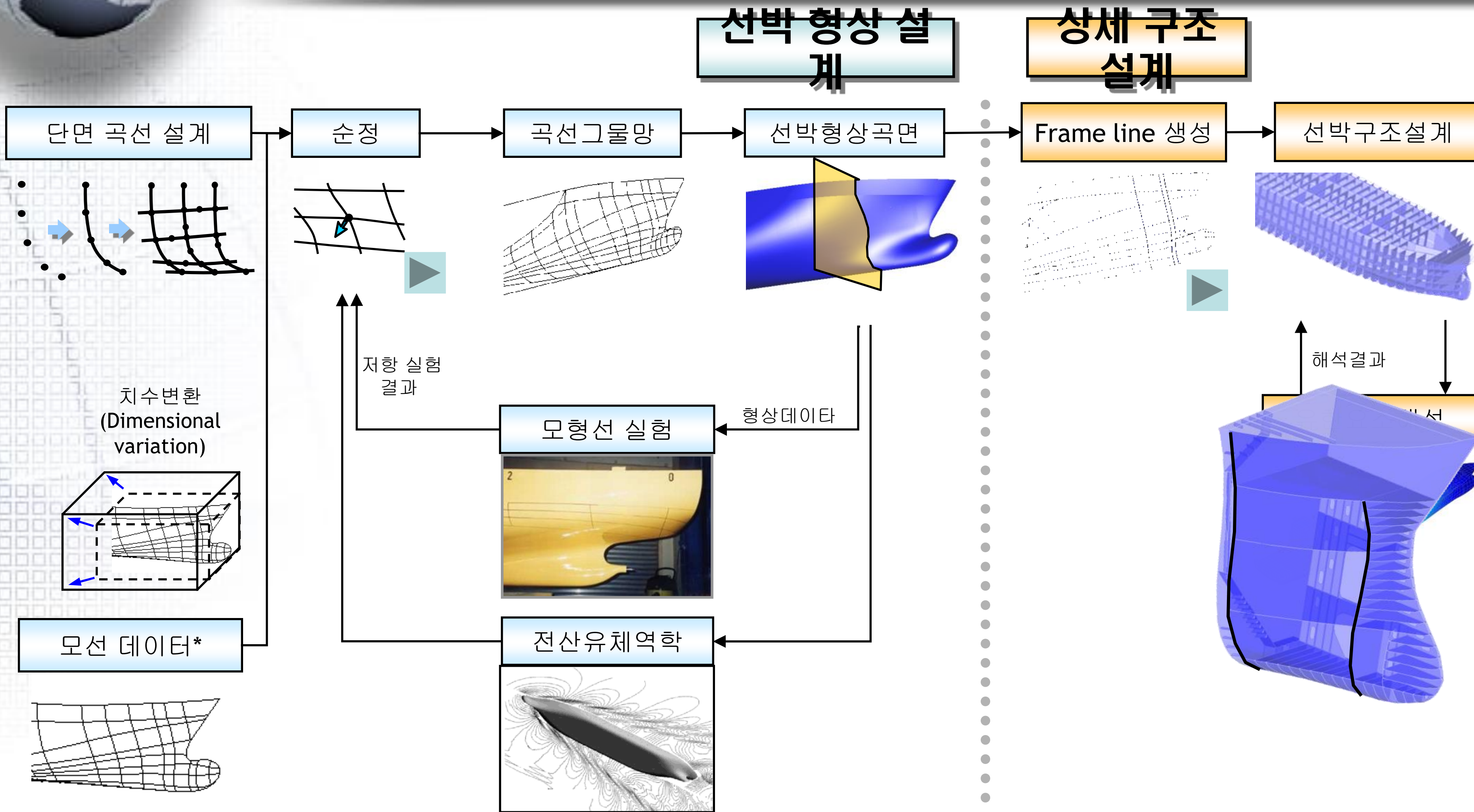
서울대학교 조선해양공학과
이규열

Advanced
Ship
Design
Automation
Laboratory

선박 개념 설계의 순서

1. 선주 요구 조건(owner's requirements)
2. 유사 실적선 자료 조사
3. 관련 rules & regulation 검토
4. 주요 치수 선정
   - 배수량 추정 -
5. 경하 중량(lightweight) 추정
6. 저항 및 마력 추정/주기관 선정
   - 저항 성능 추정, 프로펠러 주요 치수 선정 -
7. 화물창 용적(cargo capacity) 추정
8. 건현(freeboard) 계산
9. 복원 성능(stability) 추정
10. 개략 일반 배치(Sketch G/A 작성)
11. 개략 선형 및 선박 제 계산
12. 견적 물량 및 견적가 산정
13. Technical documents 작성

선박형상설계의 위치



* 선박 설계는 무에서 유를 창조하는 혁신적인 업무라기보다는 실적 자료를 토대로 한 개선

선박형상 곡면의 필요성

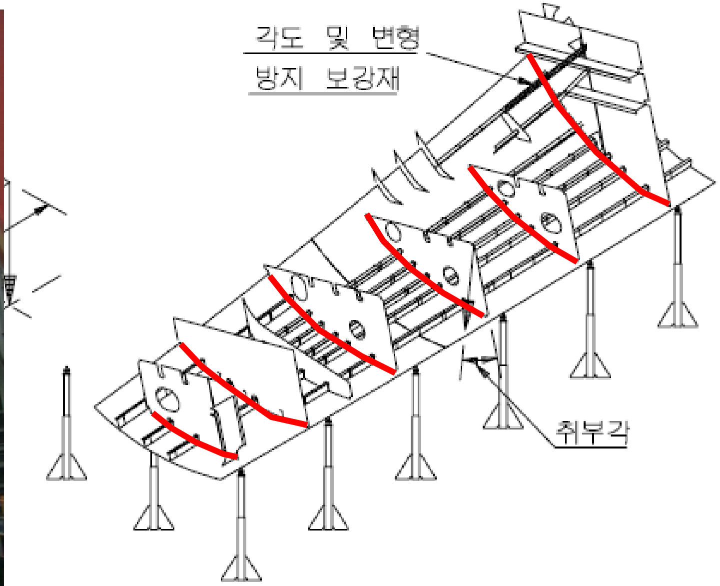
- 초기설계단계에서 생산과 관련된 정보를 조기에 추출가능

1) 용접길이, 소요시수(man-hour) 계산을 통하여 조기에 공정일정 계획 수립가능

→ 선가 견적, 건조기간 예상에 큰 도움

2) 곡블록을 고정하기 위한 취부(zig) 정보

3) 도장면적 계산을 통한 정확한 도료 물량 계산



선박 형상곡면의 품질 요구사항

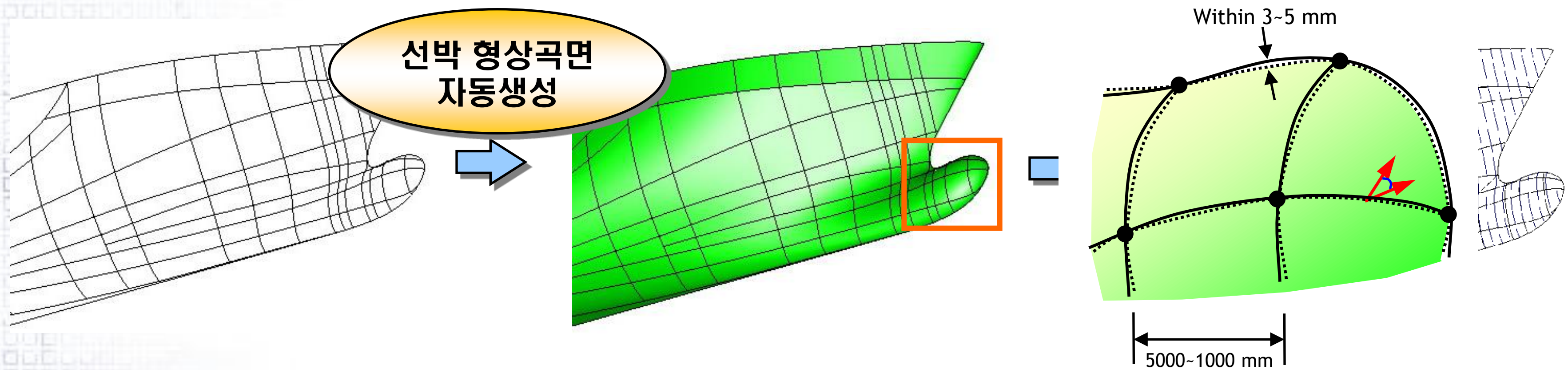
초기선형설계

상세설계 / 생산설계

Given : **곡선그물망**

Find : **선박 형상곡면**

Frame line 생성



제약조건

- Non-uniform B-spline **곡선**
- **비정규 위상의 곡선그물망**

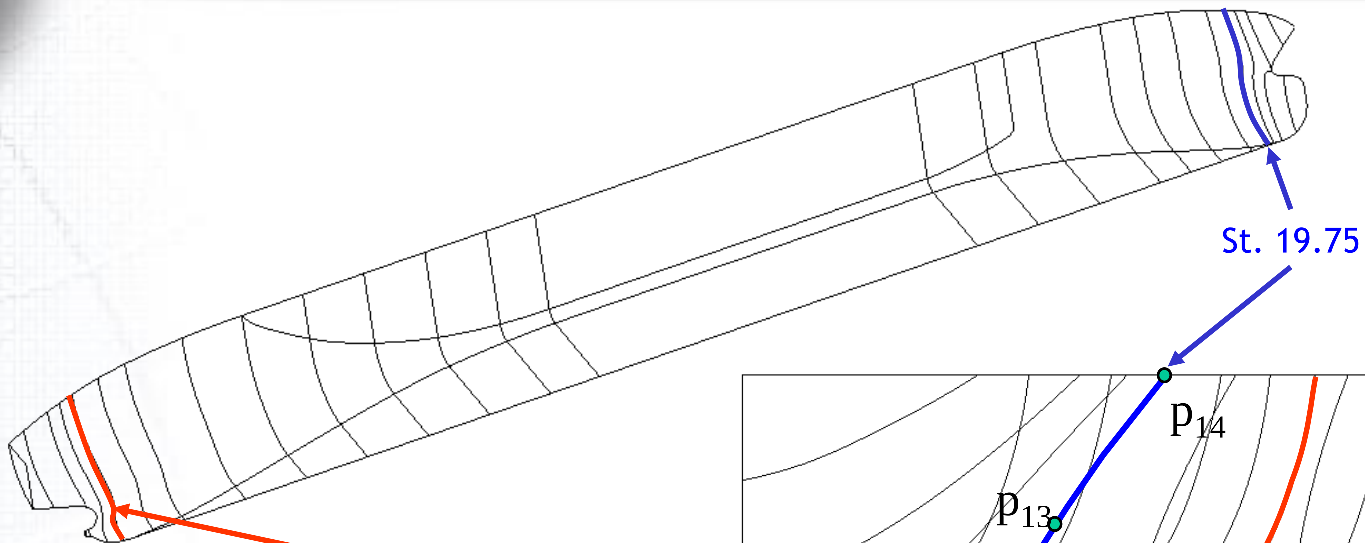
- B-spline (or Bezier) **곡면 형식**
- **곡선그물망을 정확하게 보간** or
  곡선그물망과 곡면사이의 최대거리<업계 허용오차*
- **순정된 선박 형상곡면: 접평면 연속**(G^1 **연속**)**

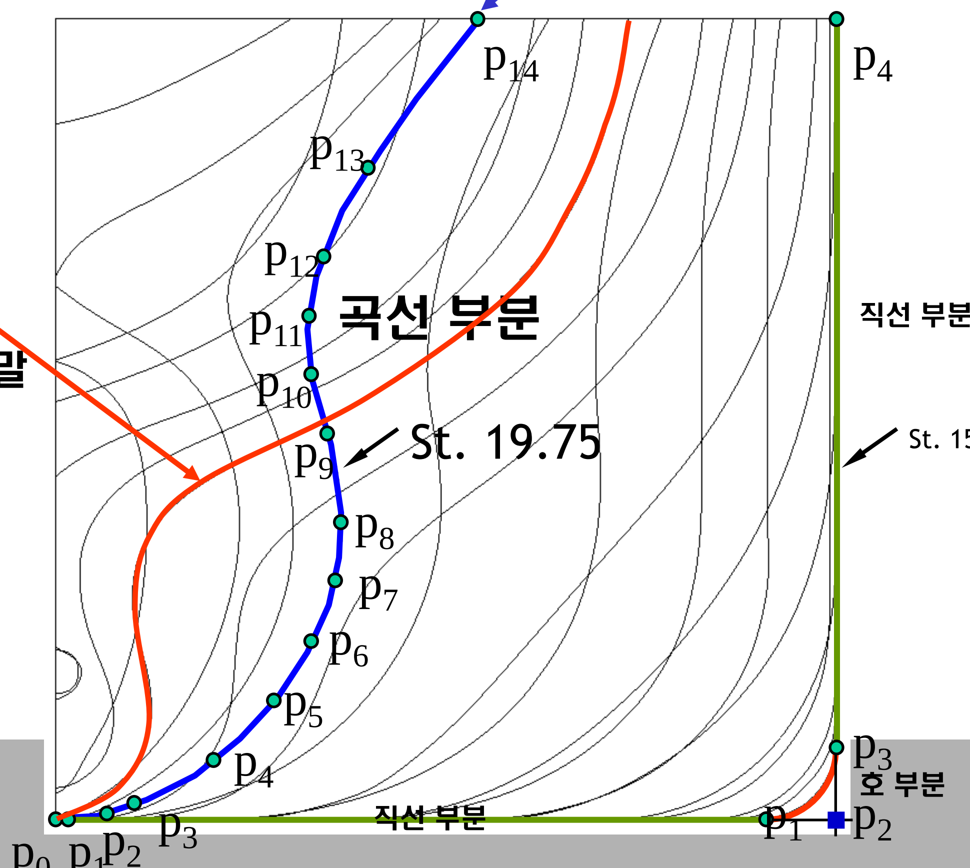
- **선박 형상곡면의 순정도를 검증**
- **곡면과 평면과의 교차계산으로 생성가능**

* 조선소에서 통용되는 최대 거리 오차는 약 3~5 mm 임

** 조선전용 상세/생산설계 시스템인 IntelliShip은 exact G^1 연속인 곡면을 입력정보로 요구하고 있음

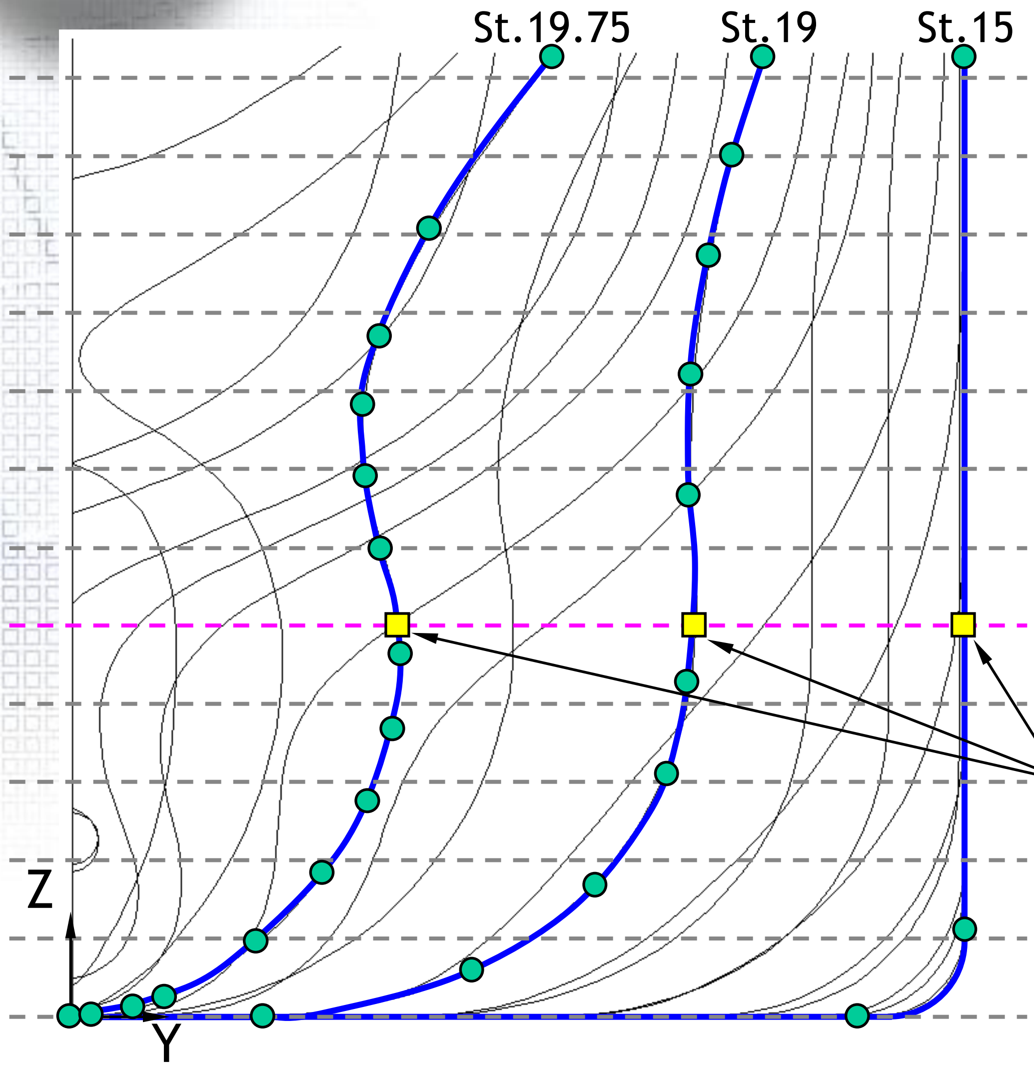
선형 표현을 위한 주요 곡선들 – Section Line





- 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

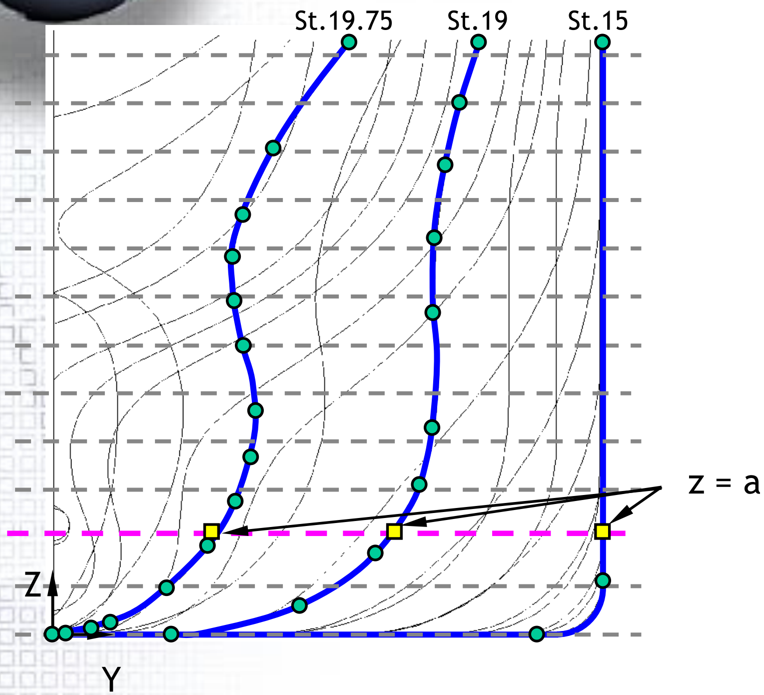
선형 표현을 위한 주요 곡선들 – Water Line 생성 (1)

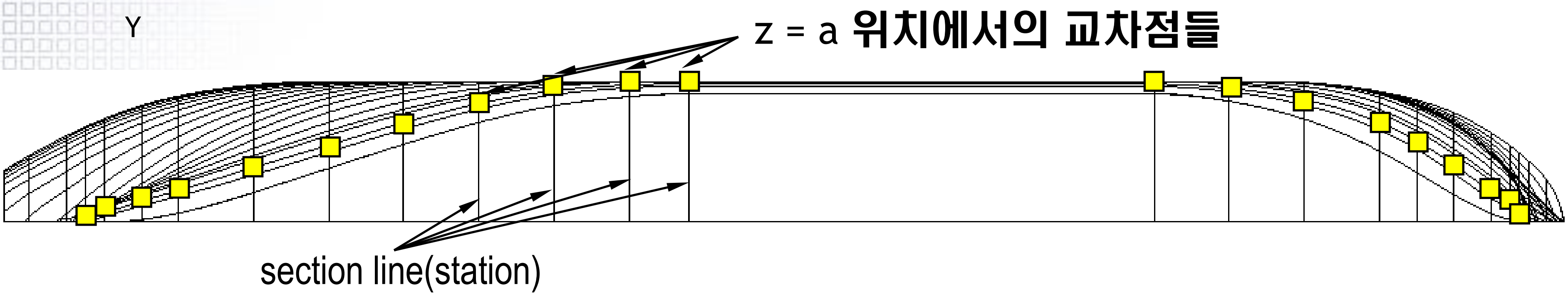


➡ z = a 평면과 주요 곡선 및 모든 section line들과의 교차 계산을 통해 waterline 생성

z = a에서의 waterline 생성을 위한 교차점

선형 표현을 위한 주요 곡선들 - Water Line 생성 (2)



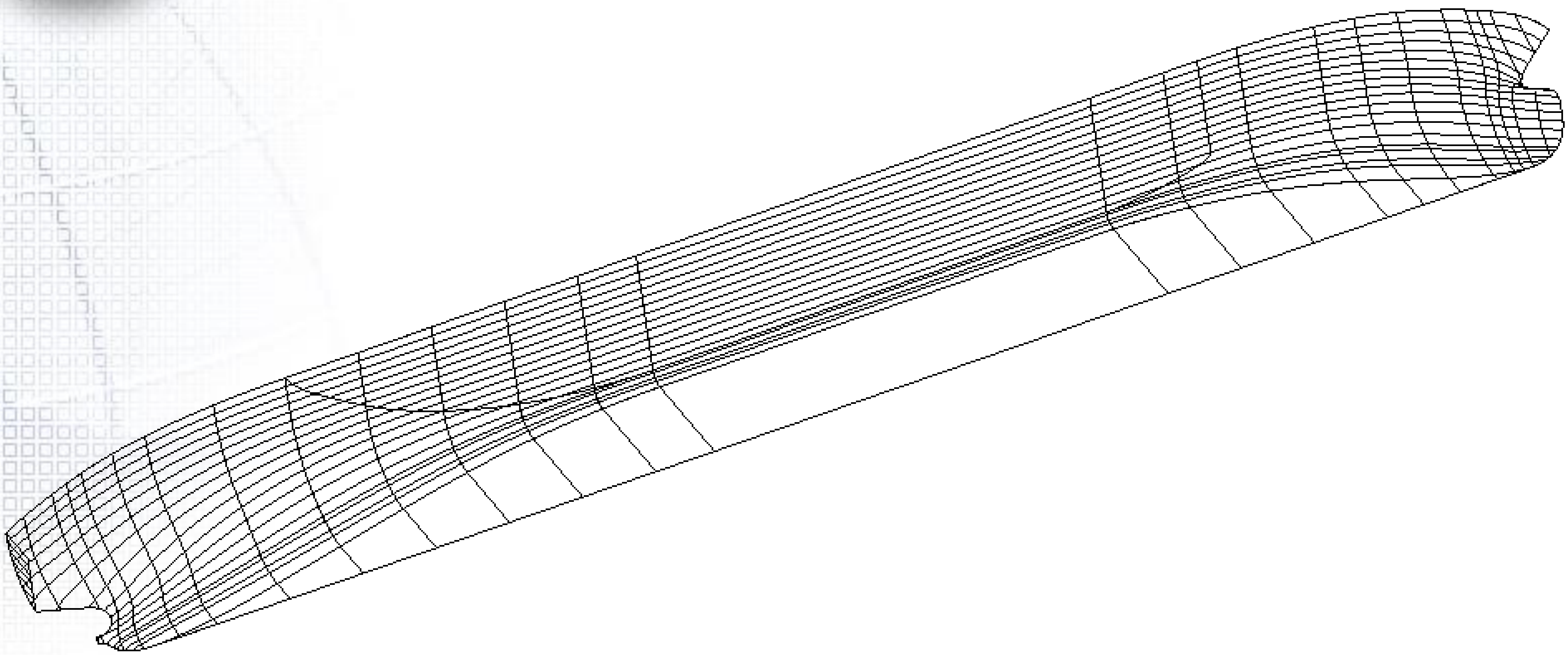


z = a 위치에서의 모든 교차점들을 NURB 곡선을 이용하여 보간(fitting)
➡ z = a에서의 waterline 생성

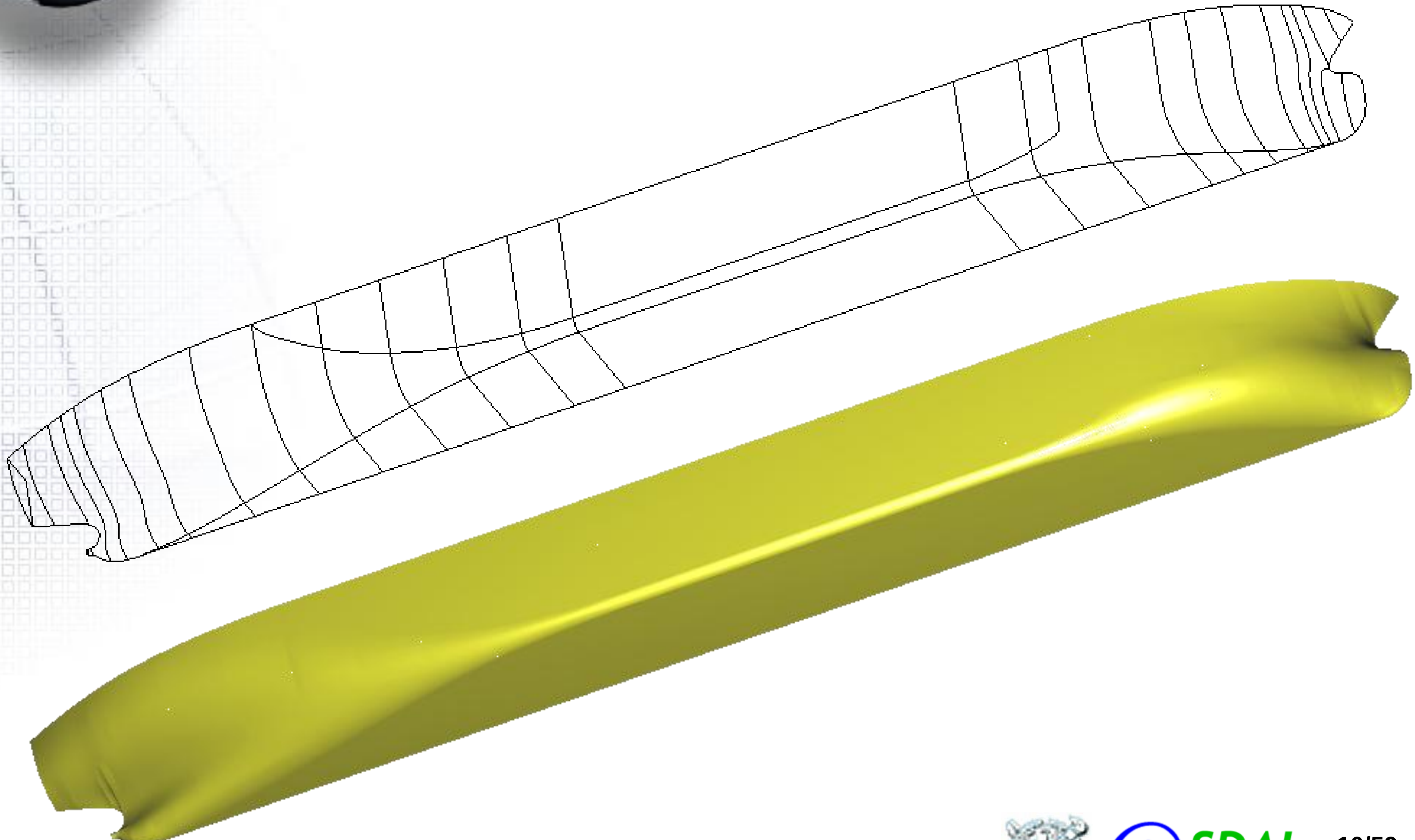
➡ **Waterline 생성**

원하는 z 위치에 대해 위 과정을 반복 수행

선형 표현을 위한 주요 곡선들 - Water Line 생성 (3)



단일 B-spline 곡면 patch를 이용한 선형곡면 생성 프로그램 구현



선형설계 과정

1. 주요목(main particulars)의 선정

2. 마력추정

3. 선형 설계

4. 모형시험

5. 시운전

6. 실선 운항성적 분석

선형설계 과정

1. 주요목(main particulars) 의 선정

2. 마력추정

3. 선형 설계

4. 모형시험

5. 시운전

6. 실선 운항성적 분석

1) 주요목의 선정에 영향을 미치는 주요 인자
- 계획속도
- DWT(deadweight)
- 화물적재용량(cargo capacity)

2) 주요치수(main dimensions)의 선정
$L(L_{OA}, L_{BP}), B(L/B), T(B/T), D$

3) 형상계수(form coefficients)의 선정
- C_B or $C_P(=C_B/C_M)$
- $C_M (= \frac{A_M}{B \cdot T})$

4) LCB(Longitudinal Center of Buoyancy)
-선수부와 선미부 간의 배수량의 균형

선형설계 과정

1. 주요목(main particulars) 의 선정
2. 마력추정
3. 선형 설계
4. 모형시험
5. 시운전
6. 실선 운항성적 분석

초기단계에서는 선정된 주요치수 및 형상 계수에 의해 통계적인 방법으로 추정.

-속도보증(speed gaurantee)
ex) Grace : 0.3 노트
Penalty : Grace 이내 범위에서 미달되는 0.1 노트당
$100,000 ~ $200,000
1 노트 미달 : 인수거부

선형설계 과정

1. 주요목(main particulars) 의 선정
2. 마력추정
3. 선형 설계
4. 모형시험
5. 시운전
6. 실선 운항성적 분석

① CP와 LCB가 주어지면, 선수부 및 선미부 Cp 값을 계산한다.

② 1-CP변환 방법을 이용하여 횡단면 이동거리를 계산한다.

③ Swinging station 방법을 이용하여 LCB를 조정한다.

④ 국부적인 수정을 하여 Cp-curve를 확정한다.

⑤ Body plan(정면선도)을 설계한다.

⑥ 선수의 profile을 설계한다.

⑦ 선미의 profile을 설계한다.

선형설계 과정

1. 주요목(main particulars) 의 선정
2. 마력추정
3. 선형 설계
4. 모형시험
5. 시운전
6. 실선 운항성적 분석

설계선형 및 추진기의 성능을 확인

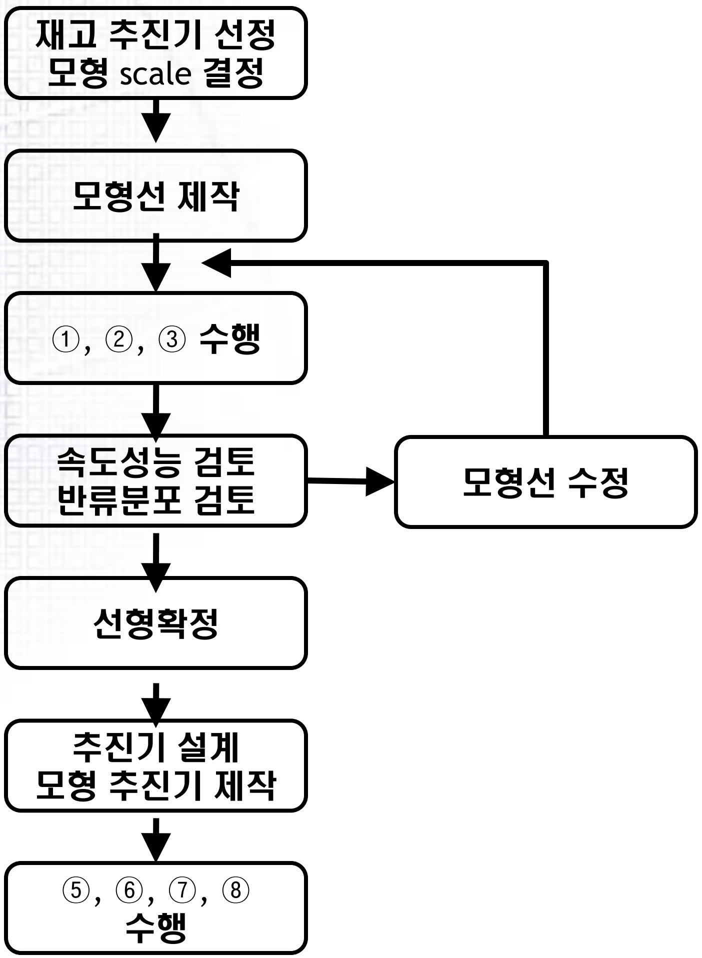
① Resistance tests
② Self propulsion tests
③ Wake survey
④ Streamline tests
⑤ Propeller open water tests
⑥ Cavitation observation
⑦ Pressure fluctuation measurements
⑧ Maneuvering tests
⑨ Seakeeping tests

모형시험 예측 오차(Prediction erros)

Approx. 6 ~ 7% in power
Approx. 2 ~ 3 % in propeller revolution

선형설계 과정

모형시험 Flow



설계선형 및 추진기의 성능을 확인

① Resistance tests
② Self propulsion tests
③ Wake survey
④ Streamline tests
⑤ Propeller open water tests
⑥ Cavitation observation
⑦ Pressure fluctuation measurements
⑧ Maneuvering tests
⑨ Seakeeping tests

모형시험 예측 오차(Prediction erros)

Approx. 6 ~ 7% in power
Approx. 2 ~ 3 % in propeller revolution

선형설계 과정

1. 주요목(main particulars) 의 선정

2. 마력추정

3. 선형 설계

4. 모형시험

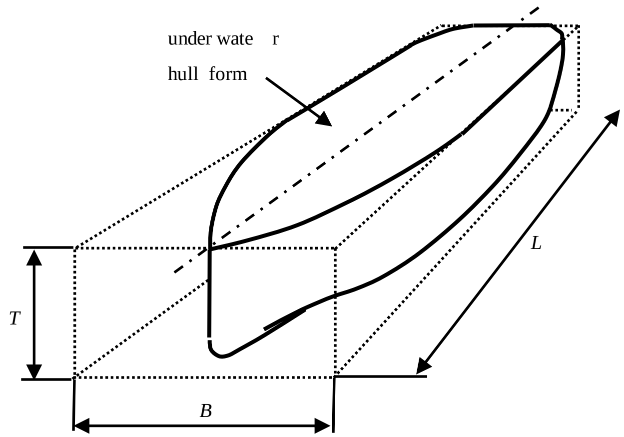
5. 시운전

6. 실선 운항성적 분석

- 속도 시운전 해석 -> 모형선-실선 상관수정 계수
- 계측 항목 : 속도, 주기의 마력 및 회전수, 풍향 및 풍속
- 조종 시운전
- 진동 계측

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

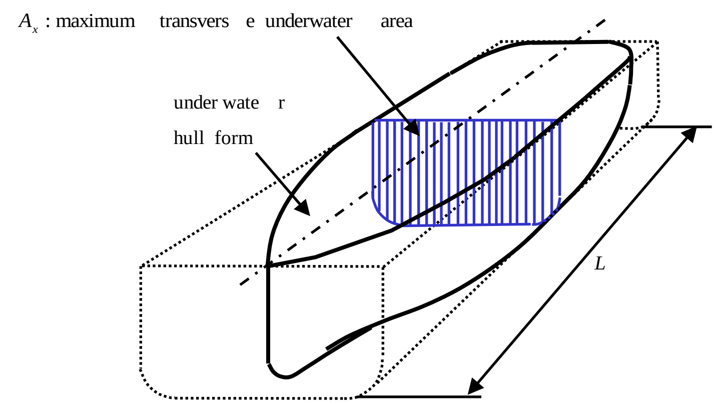
(moulded volumd of displacement)

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)

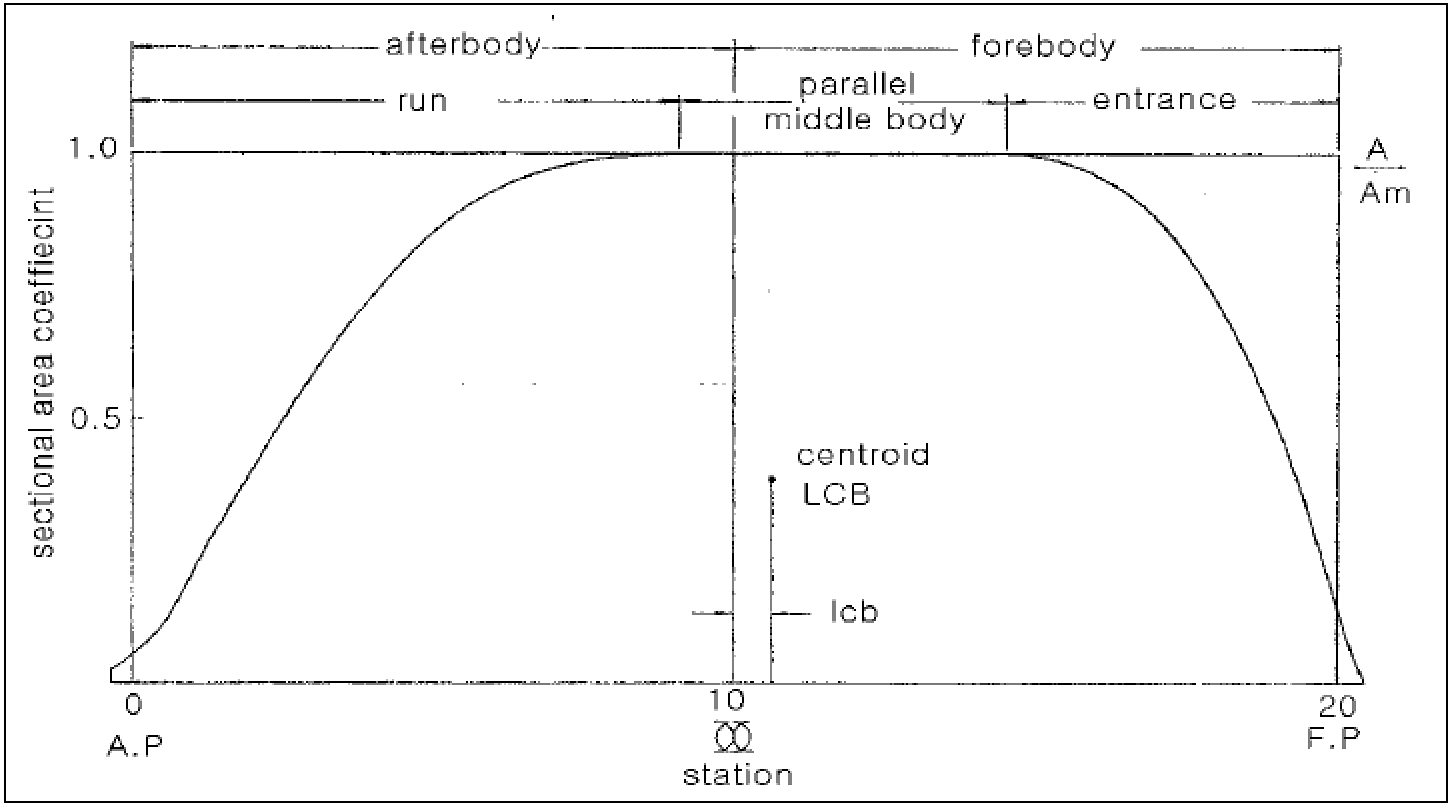
L = 선박의 길이 (LWL or LBP)

A_M = 선체 중앙에서의 횡단면적

C_M = 중앙단면계수 (midship coefficient)

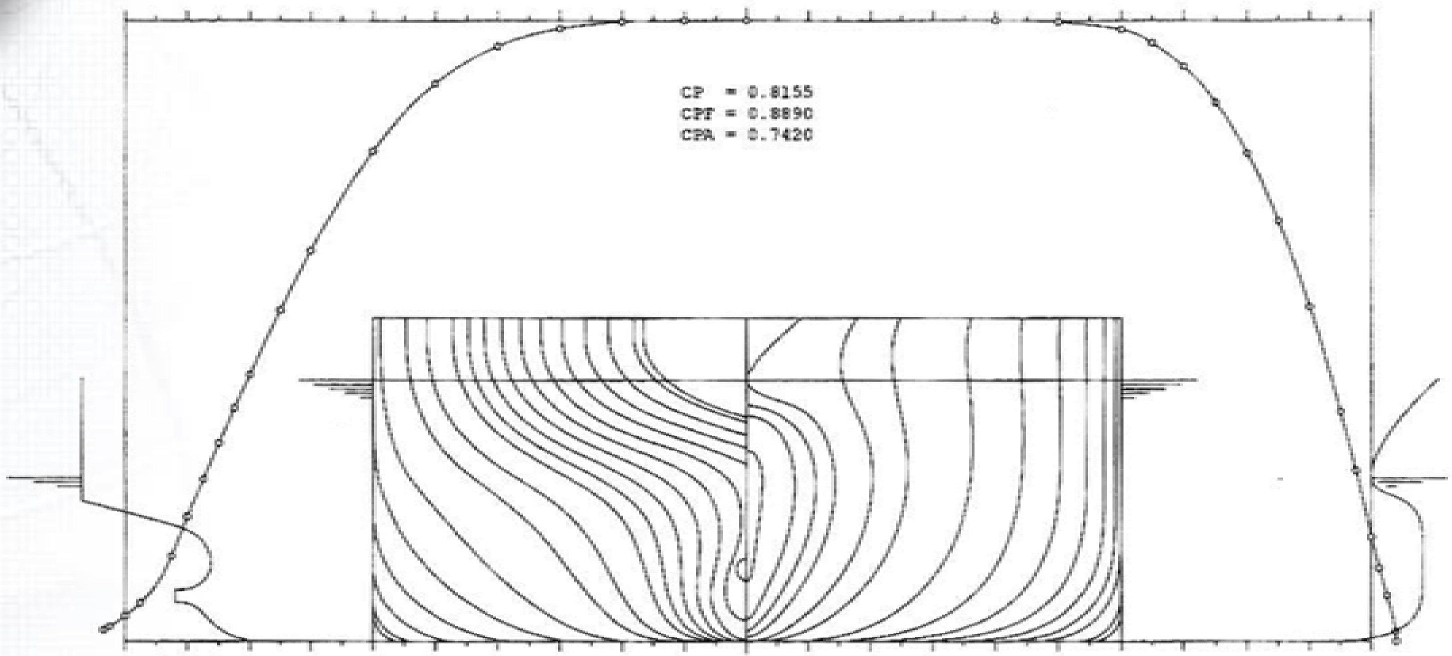
선형의 특성
- 길이 방향의 배수량 분포(C_p-curve)

- 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)

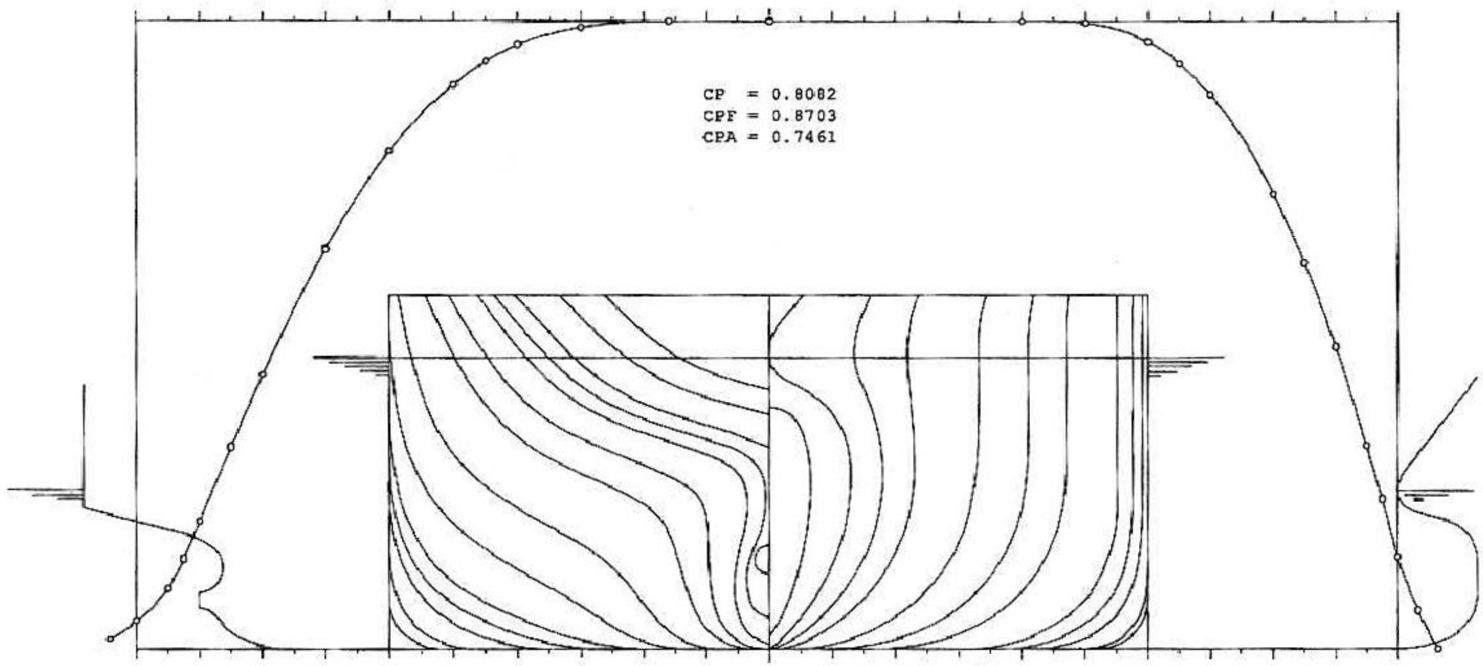


LBP 320m	L/B 5.3	CB 0.81
B 60m	B/T 2.85	LCB 3.4%
T 21m	Fn 0.147	CM 0.998
BL 7.5m (2.3%L)	Bulb Area 16.7% AM	

(BL: Bulb length)

참고문헌: 2004 선박설계 연구회 특별공개강좌

주요 선종별 Cp Curve
- 45K Bulk Carrier

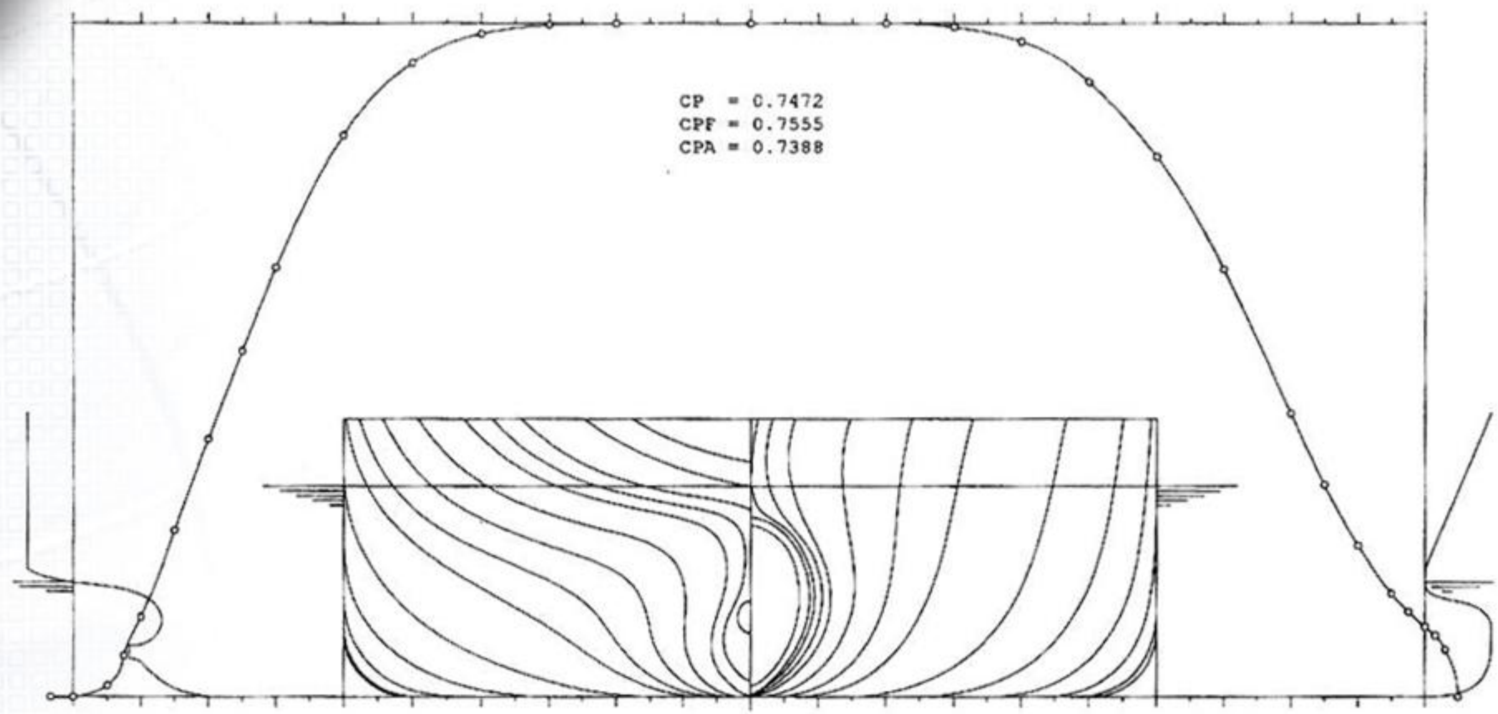


LBP 190m	L/B 6.1	CB 0.80
B 31m	B/T 2.58	LCB 2.9%
T 12m	Fn 0.191	CM 0.995
BL 6.0m (3.1%L)	Bulb Area 14.7% AM	

(BL: Bulb length)

참고문헌: 2004 선박설계 연구회 특별공개강좌

주요 선종별 Cp Curve
– LNG Carrier

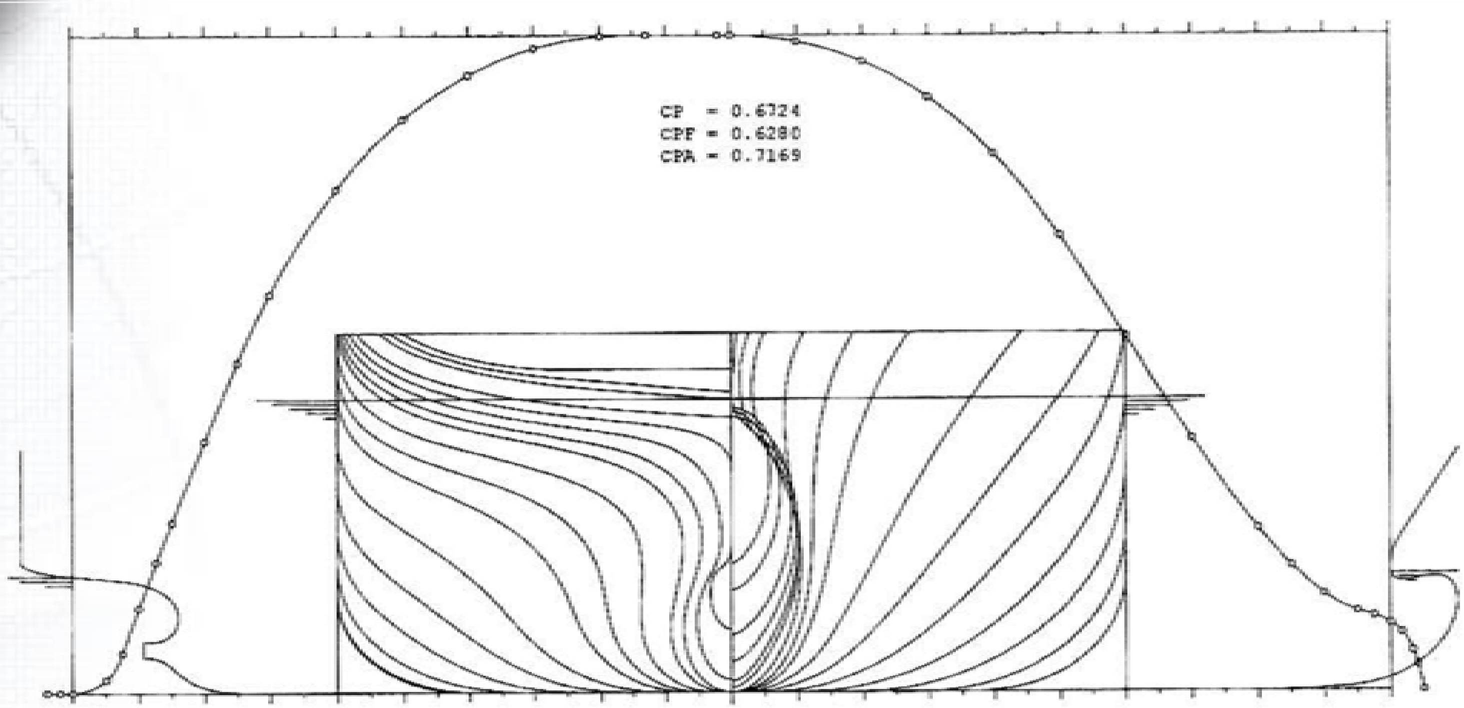


LBP 266m	L/B 6.1	CB 0.74
B 43.4m	B/T 3.84	LCB 0.6%
T 11.3m	Fn 0.21	CM 0.989
BL 6.5m (2.4%L)	Bulb Area 10.4% AM	

(BL: Bulb length)

참고문헌: 2004 선박설계 연구회 특별공개강좌

주요 선종별 Cp Curve
- 4,100 TEU Container ship

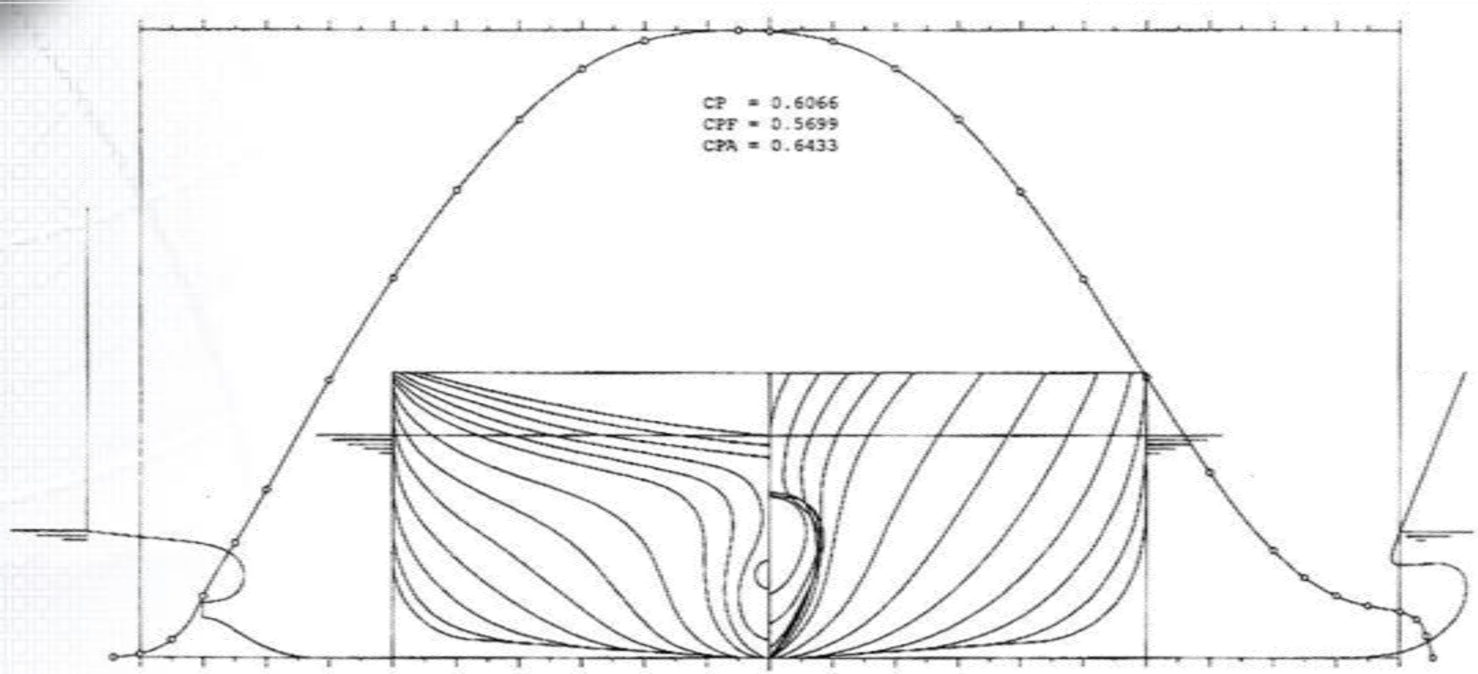


LBP 269m	L/B 8.4	CB 0.66
B 32.2m	B/T 2.68	LCB -1.7%
T 12.0m	Fn 0.25	CM 0.978
BL 6.8m (2.5%L)	Bulb Area 10.1% AM	

(BL: Bulb length)

참고문헌: 2004 선박설계 연구회 특별공개강좌

주요 선종별 Cp Curve
- 6,000 Units Ro-Ro ship



LBP 199m	L/B 5.9	CB 0.57
B 32.26m	B/T 3.4	LCB -1.5%
T 9.5m	Fn 0.24	CM 0.937
BL 5.0m (2.5%L)	Bulb Area 7.3% AM	

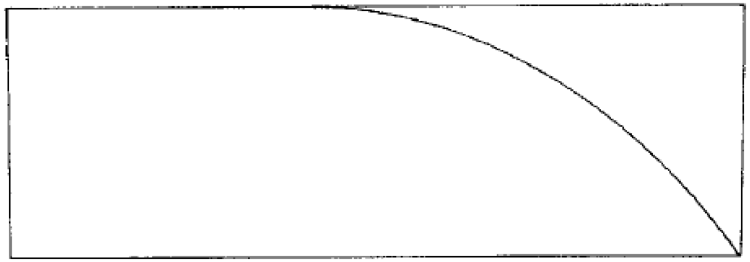
(BL: Bulb length)

참고문헌: 2004 선박설계 연구회 특별공개강좌

선형의 특성
– 만재흘수선(LWL, Load Water Line)의 형상

1) 일반적인 선수부 수선 형상 (Conventional Type) :

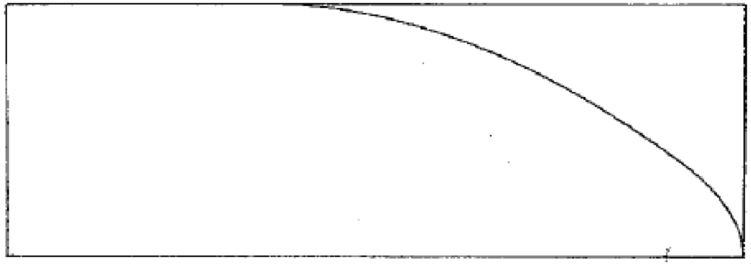
– 선수부의 배수량을 어깨 부분에 많이 배치하는 경우



Conventional Type

2) 원통형 선수부 수선 형상 (Cylindrical Type) :

– bulbous bow를 배치함으로써 conventional type보다 배수량을 좀 더 선수쪽으로 배치하는 경우



Cylindrical Type

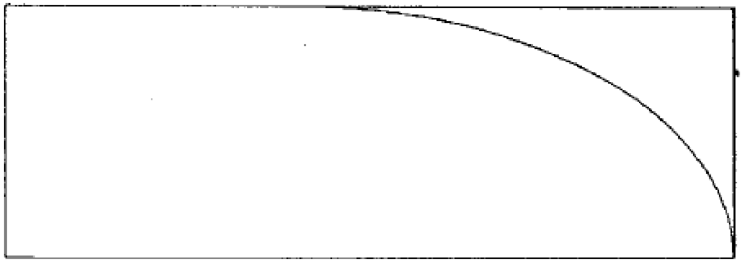
3) 타원형 선수부 수선 형상 (Elliptical Type) :

– cylindrical type보다 좀 더 부드러운 형상

– 2차원 경우, 타원 형상은 압력분포가 가장 작으므로 저항이 작아 진다.(유체역학적 분석!!)

– 선미부 수선의 모양은 fine 해지므로 선미형상과 관련된 추진, 진동 특성들이 조화있게 된다.

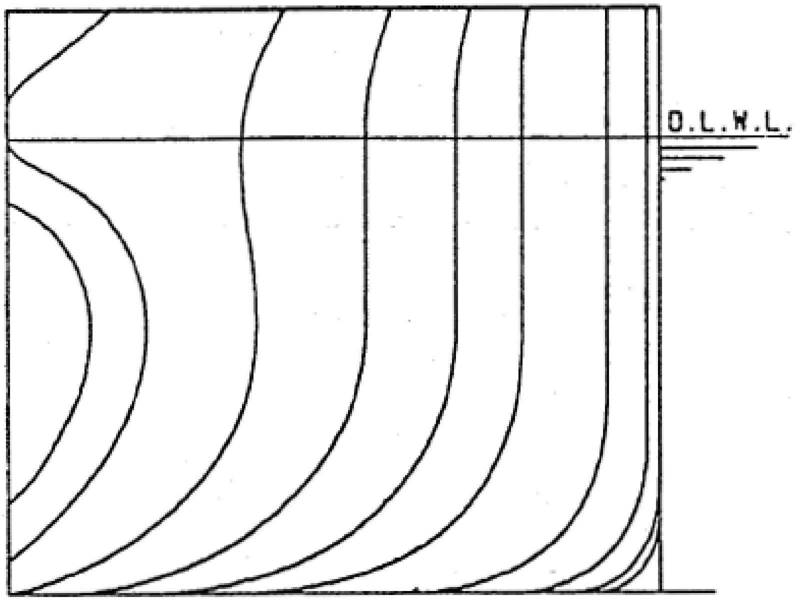
– 현재 대부분의 저속 비대선의 선수부 만재흘수선 모양.



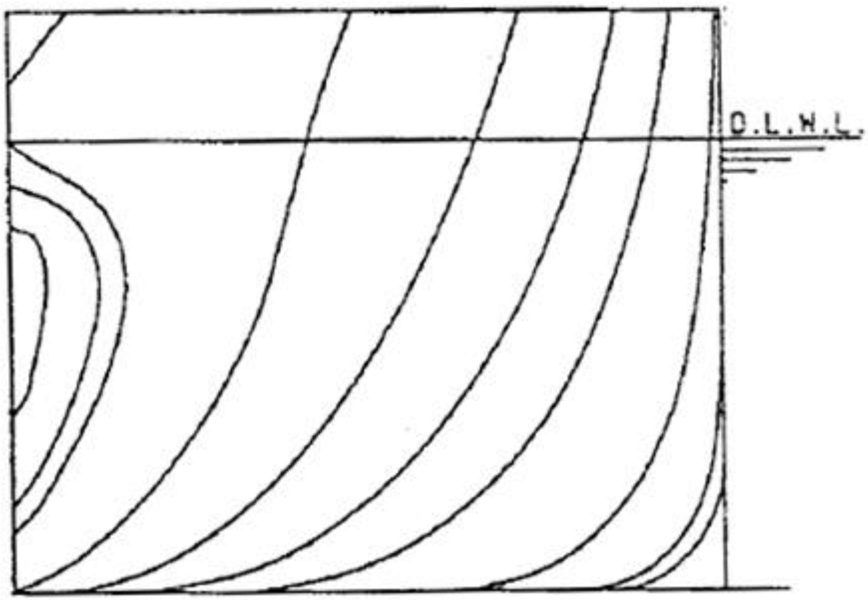
Elliptical Type

선형의 특성
– 횡단면의 모양(선수부)

1) U-type : 점성 저항이 작으므로 저속 비대선에 유리.
2) V-type : 조파 저항이 작으므로 고속 세장선에 유리.



U-shape forebody



V-shape forebody

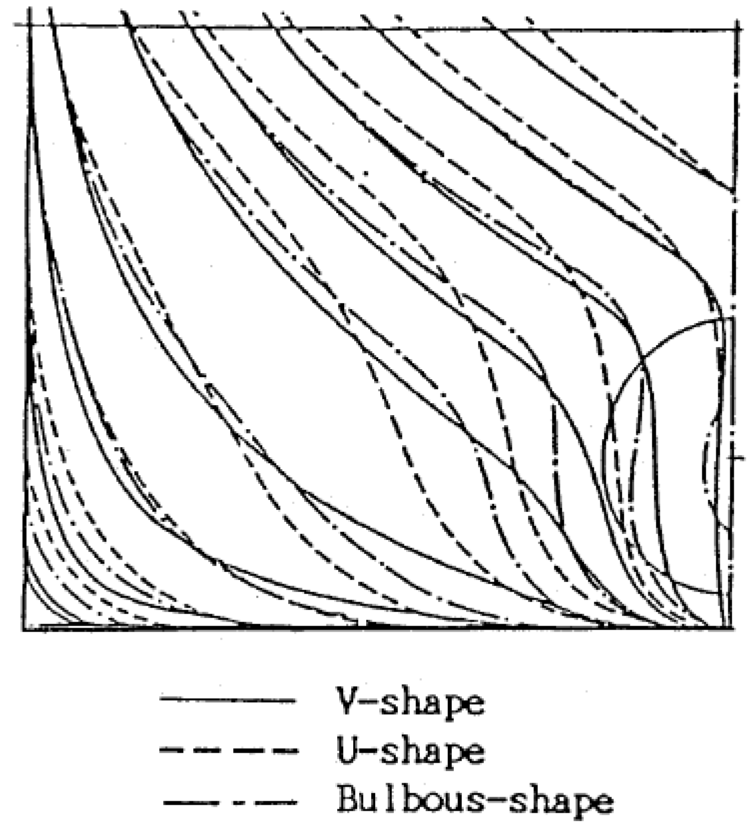
선형의 특성
– 횡단면의 모양(선미부)

1) U-type :

- 점성저항이 크다(큰 점성 압력 저항 ; viscous pressure resistance)
- 반류분포가 균일하고 반류피크가 낮다.
- 추진효율이 높다
- 기관실 배치가 용이하다.

2) V-type :

- 저항이 작다.
- 반류분포가 불균일하고 반류피크가 높다.
- 추진효율이 낮다.
- 기관실 배치가 어렵다.



Conventional afterbody

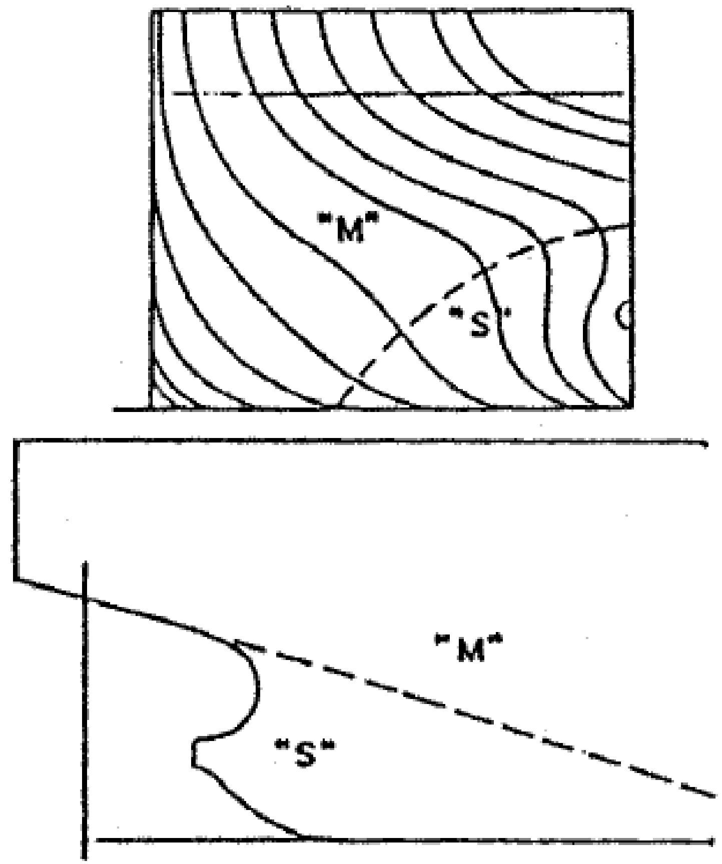
선형의 특성
– 횡단면의 모양(선미부)

3) Composite type :

선미부 형상을 2부분으로 나눔

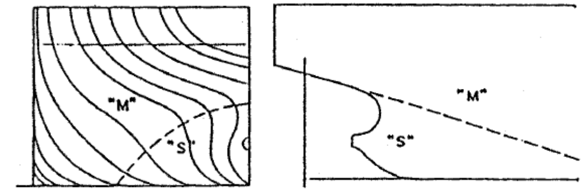
❖ "M" : 주 구역 (main)
저항측면을 고려해야 하는 구역.
V형, 바지 형

❖ "S" : 스케그 구역 (skeg)
프로펠러쪽으로 유체가 흘러들어오는 구역으로 저항보다는 추진 및 반류분포가 중요.
U형, moderate U형, stern bulb 형



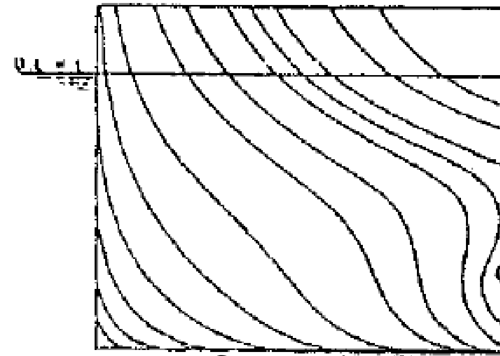
2구역의 선미부 형상

선형의 특성
– 횡단면의 모양(선미부)

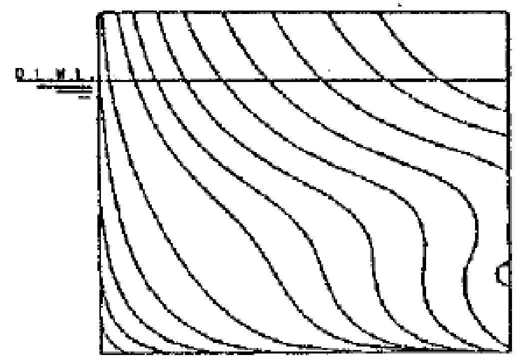


3) Composite type :

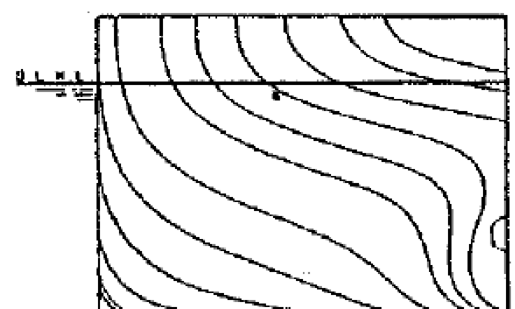
❖ Composite(I) – Suezmax, Panamax, VLCC 선형
"M" : V형
"S" : moderate U형 + stern bulb 형


Composite(I)

❖ Composite(II) – Suezmax, Panamax, VLCC 선형
"M" : V형
"S" : U형 + stern bulb 형


Composite(II)

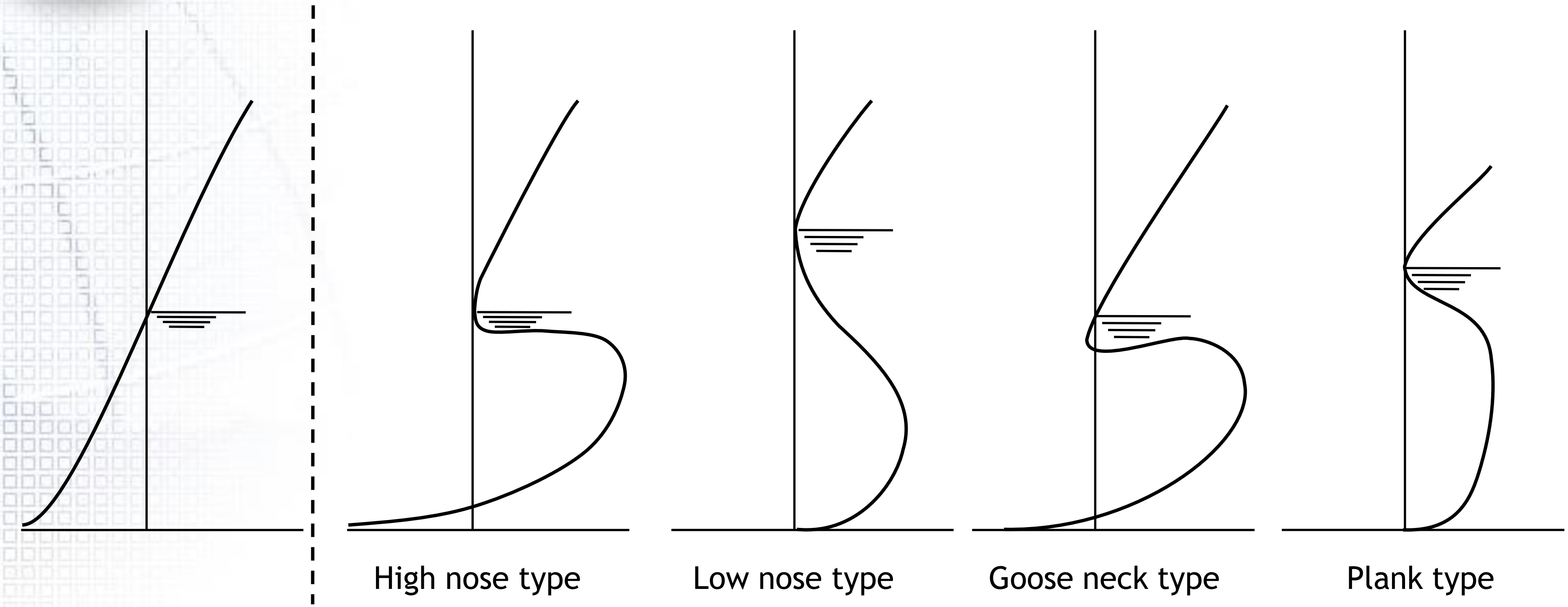
❖ Improved Barge – Aframax 선형(B/T = 3.3 ~ 3.5)
"M" : Barge형
"S" : moderate U형 + stern bulb 형


Improved Barge

선형의 특성
– 선수형상(bow)의 종류

non-bulbous bow

Bulbous bow



High nose type

: 80년대 말부터 설계된 형상

Low nose type

: 80년대 말까지 설계된 형상

Goose neck type

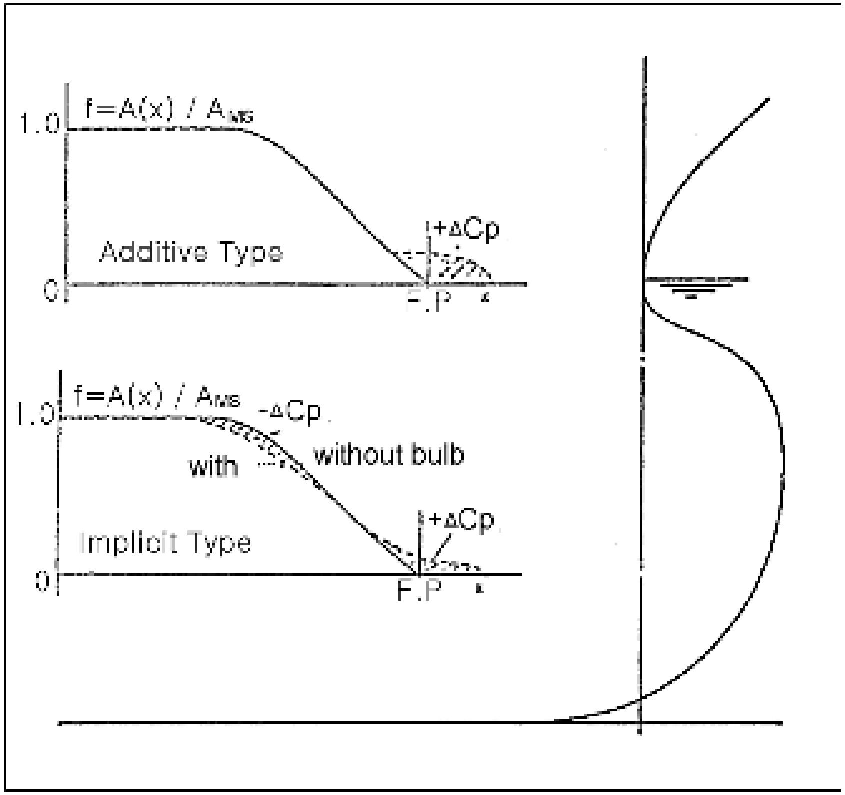
: 새로이 '유행'되는 선형. 컨테이너선, Ro/Ro선과 같은 fine한 선형에서 설계됨.

Plank type

: 저속 비대선에서 응용되는 선형

선형의 특성
– 구상선수 설계시 유의사항

(1) Bulb는 appendage(부가물)가 아니라 선체의 일부
(2) Bulb를 이용하여 선수부의 fineness를 최대한 향상시키도록 유의
(3) F.P. 앞쪽으로 돌출된 bulb는 만재상태에서 쇄파현상을 줄이는 효과
(4) Bulb는 단면적곡선 및 waterline의 선수 끝에서의 형상을 바꾸는 장치
(5) Bulb에 의해 entrance근처에서의 bluntness를 감소
(6) Wave cancelling 효과
(7) Streamlining에 의한 점성저항의 감소
(8) Operating draft range(at F.P.)를 고려
(9) 주 선체와의 조화
(10) 구상선수는 가능하면 길게,
그리고 횡단면적은 크게 설계한다.



구상선수의 개념

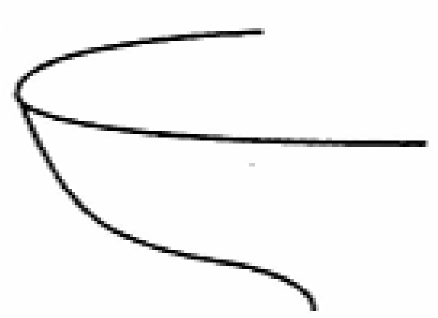
선형의 특성
– 선미형상(stern)

- 선수형상보다 더 중요하다.

1) 종류

   – Transom or cruiser stern

Transom stern



Cruiser stern

   – Open type or mariner type stern

Open type stern(yacht)

Mariner type stern

선형설계 방법 – 선형설계 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)

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:

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

LCB 추정 시, 기준선을 통해 구한 Correction factor를 반영한다.

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

$$LCB_{설,추2} = C_{corr.} \cdot LCB_{설,추1}$$

$LCB_{기,추}$:추정식으로 계산한 기준선의 LCB 값

$LCB_{기,실}$:기준선 자료상의 실제 LCB 값

$C_{corr.}$: Correction factor

$LCB_{설,추1}$:추정식으로 계산한 설계선의 LCB 값

$LCB_{설,추2}$: $LCB_{설,추1}$의 추정값에 기준선에서 구한 Correction factor 를 곱한값

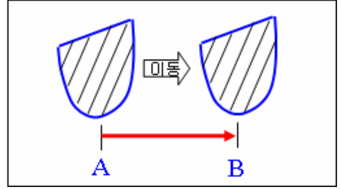
선형 변환 방법

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

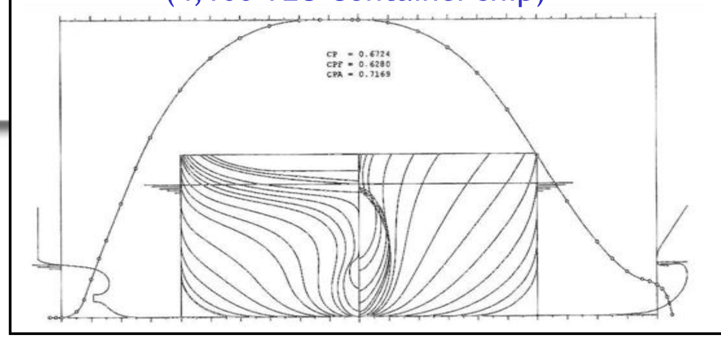
- CP Variation 방법 :
  기존선형의 횡단면 형상의 모양을 그대로 유지하면서 단지 길이방향으로 그 횡단면 형상을 이동하여 수선면 아래의 배수량과 배수량 중심의 길이 방향 위치(LCB)를 변경

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

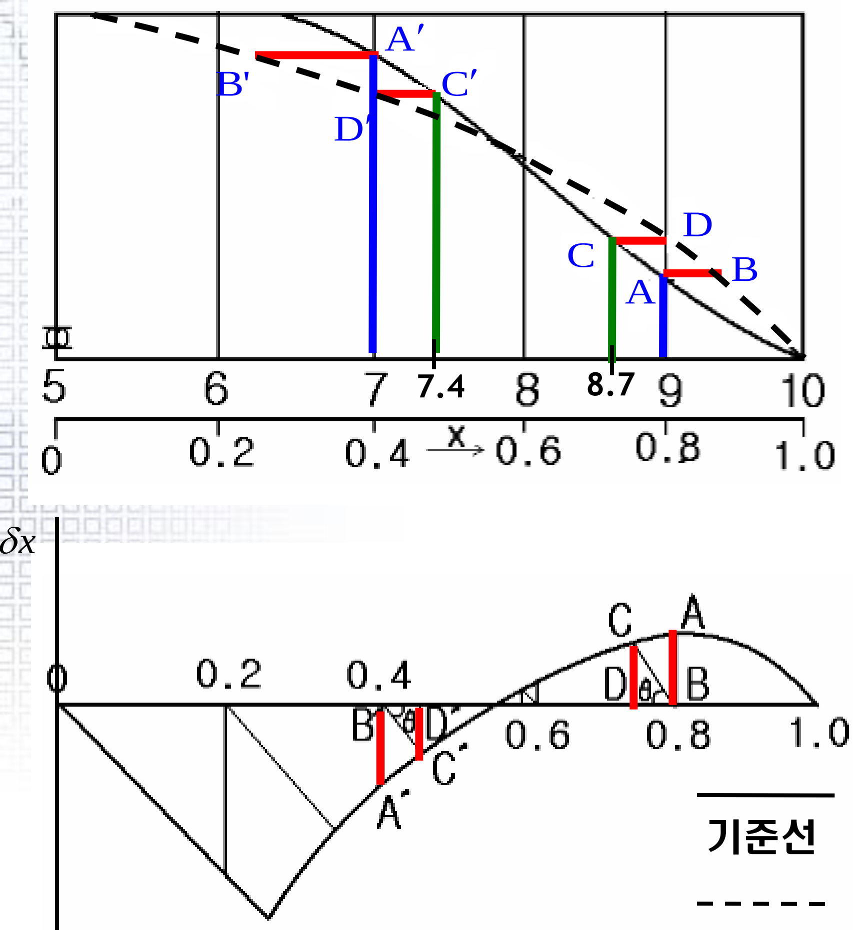
선형 변환 방법
"1−C_p" 변환 방법



CP Curve
(4,100 TEU Container ship)



- 횡단면 이동에 의한 단면형상 구하는 방법



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

기존선형의 횡단면 형상의 모양을 그대로 유지하면서 단지 길이방향으로 그 횡단면 형상을 이동함

①기준선의 station 9 (x=0.8)에 위치한 횡단면 형상
→ 설계선의 경우 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 기준선의 station 7로 부터 A'B'만큼 이동함.

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

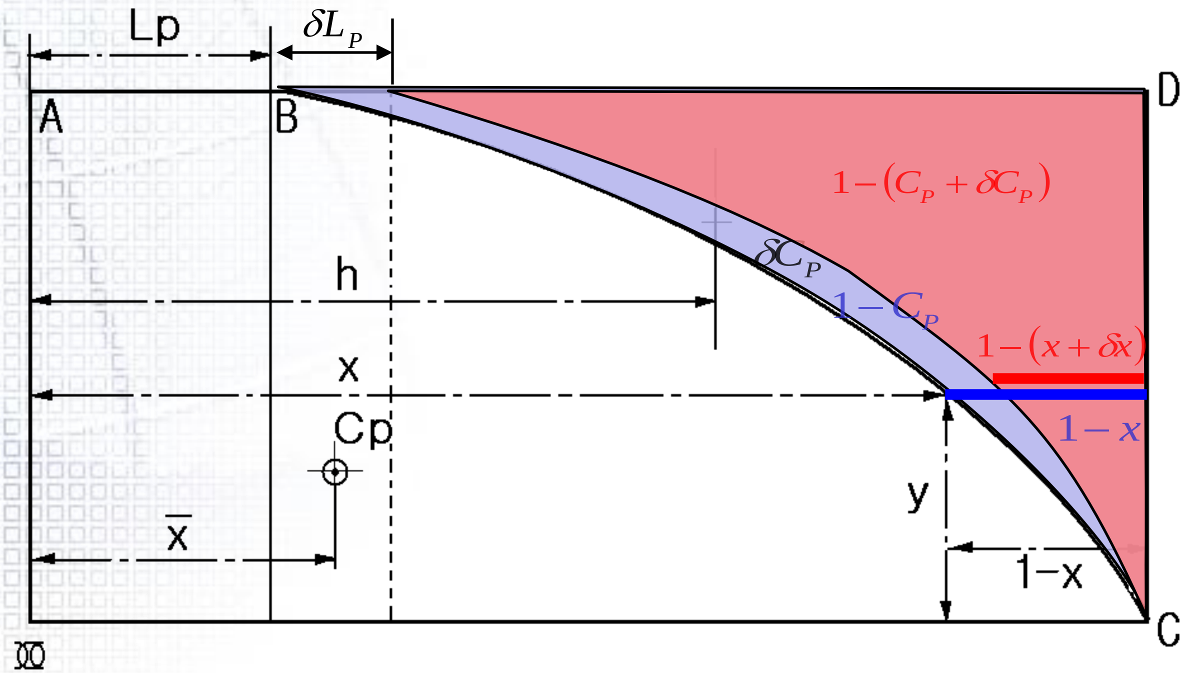
선형 변환 방법

“1−C_p” 변환 방법

참고 문헌: Lackenby, Variation of ship form, 1950, LINA

Given : 전반부 , 후반부에 대한 $C_{P_{a,f}}$, $\delta C_{P_{a,f}}$, $\bar{x}$, L_P, y

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



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”

$C_P = C_b / C_m$

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

x : Midship 으로부터 임의의 횡단면까지의 거리

$\bar{x}$: Midship 으로부터 반폭선형의 도심까지의 거리

y : x에 위치한 횡단면의 면적비 , 이때 면적비은 중앙부 횡단면적으로 나눈값

δC_P : C_P의 변화량

δL_P : L_P의 변화량

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

h : Midship 으로부터 δC_P의 중심까지의 거리

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

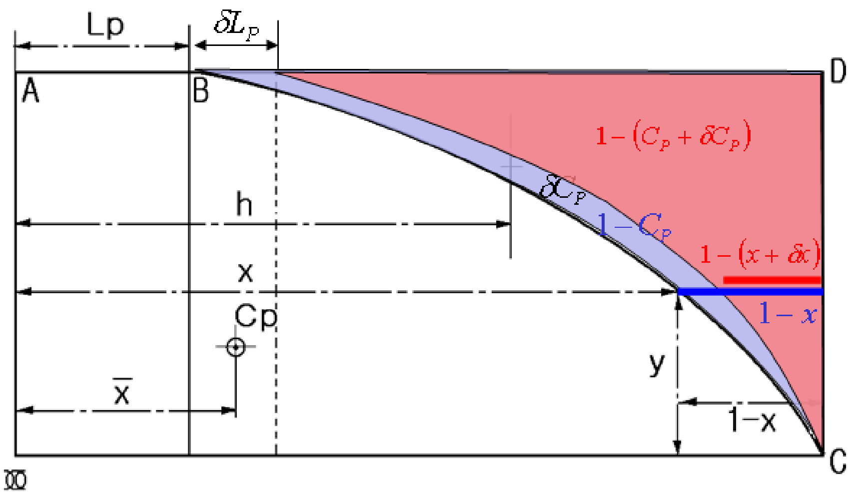
$$\delta x_{f,a}=\frac{\delta C_{P_{f,a}}}{1-C_{P_{f,a}}}\left(1-x_{f,a}\right)$$

선형 변환 방법
"1-C_p" 변환 방법

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

Given : 전반부 , 후반부에 대한 $C_{P_{a,f}}, \delta C_{P_{a,f}}, \bar{x}, L_P, y$

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



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"

$C_P = C_b / C_m$

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

x : Midship 으로부터 임의의 횡단면까지의 거리

$\bar{x}$: Midship 으로부터 반폭선형의 도심까지의 거리

y : x에 위치한 횡단면의 면적비 , 이때 면적비은 중앙부 횡단면적으로 나눈값

δC_P : C_P의 변화량

δL_P : L_P의 변화량

δx : $Midship$ 으로부터 거리 x에 위치한 횡단면이 이동한 거리 ,
즉, δC_P를 만족하는 횡단면의 이동거리

h : $Midship$ 으로부터 δC_P의 중심까지의 거리

중앙평행부 길이의 변화량, $\delta L_{P_{f,a}}$

$$(\delta x_{f,a} = \delta L_{P_{f,a}})$$

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

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

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

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

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

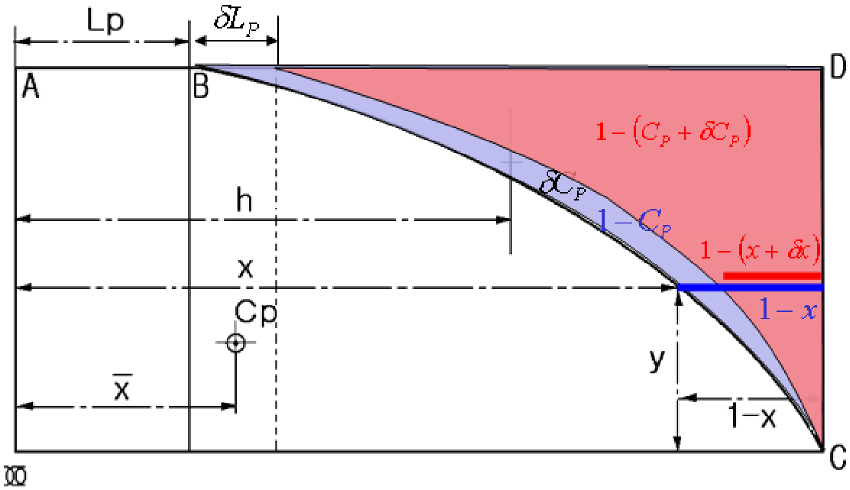
참고 문헌: Lackenby, Variation of ship form, 1950, LINA

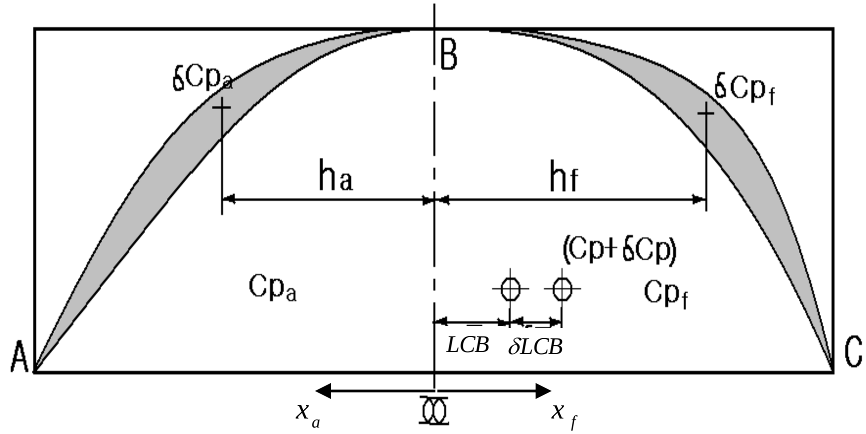
선형 변환 방법
"1-C_p" 변환 방법

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

Given : 전반부 , 후반부에 대한 $C_{P_{a,f}}$, $\delta C_{P_{a,f}}$, $\bar{x}$, L_P, y

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





x_a, x_f 의 부호는 Midship 에서 멀어지는 방향을 + 로 한다 .

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"

$C_P = C_b / C_m$

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

x : Midship 으로부터 임의의 횡단면까지의 거리

$\bar{x}$: Midship 으로부터 반폭선형의 도심까지의 거리

y : x에 위치한 횡단면의 면적비 , 이때 면적비은 중앙부 횡단면적으로 나눈값

δC_P : C_P의 변화량

δL_P : L_P의 변화량

δx : $Midship$ 으로부터 거리 x에 위치한 횡단면이 이동한 거리 ,

즉, δC_P를 만족하는 횡단면의 이동거리

h : $Midship$ 으로부터 δC_P의 중심까지의 거리

① 전반부 C_p변화량, δC_{Pf} 과 후반부 C_p 변화량, δC_{Pa} 을 구한다.

방법 1. 계산식 사용

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

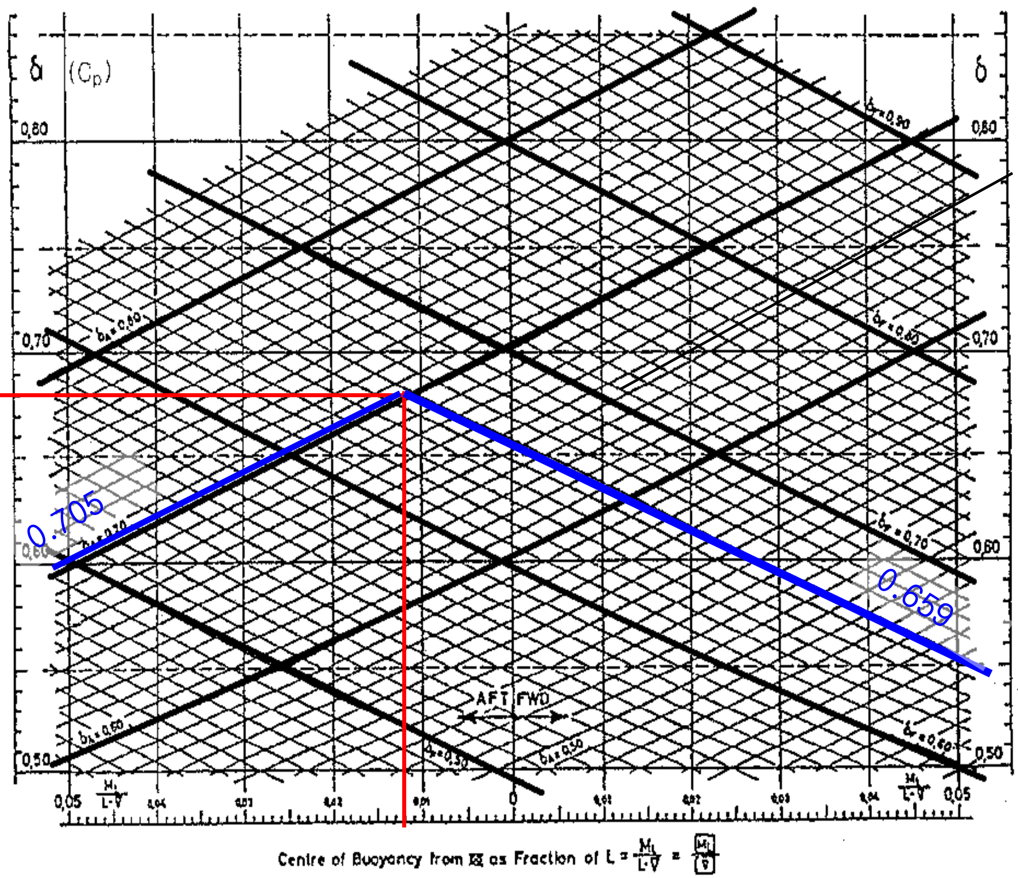
$$\delta C_{Pa} = \frac{2\left[\delta C_P\left(h_f - LCB\right) - \delta LCB\left(C_P + \delta C_P\right)\right]}{h_f + h_a}$$

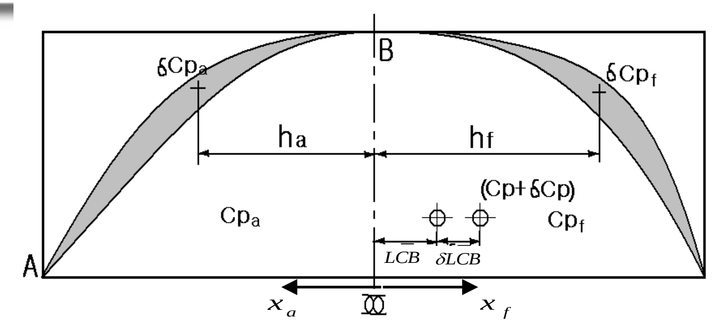
LCB의 부호는 Midship에서 선수방향을 (+)로 두므로, 선미부 Cp변화량을 구할 때는 부호변환을 하여 사용한다.

참고 문헌: Lackenby, Variation of ship form, 1950, LINA

전반부 Cp변화량, δC_{Pf} 과 후반부 Cp 변화량 δC_{Pa} 추정법
- Guldhammer의 통계적 방법

방법 2 통계적 방법 사용





$$C_P = \frac{C_{P_f} + C_{P_a}}{2}, \quad \begin{cases} C_{P_f} : \text{선수부 } C_P\text{값} \\ C_{P_a} : \text{선미부 } C_P\text{값} \end{cases}$$

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

계산 예:

Cp=0.682, LCB=1.2% aft**가 주어진 경우,**

왼쪽 그래프를 통해 C_{Pf}=0.659, C_{Pa}=0.705**를 구할 수 있다.**

선형 변환 방법
"1-C_P" 변환 방법

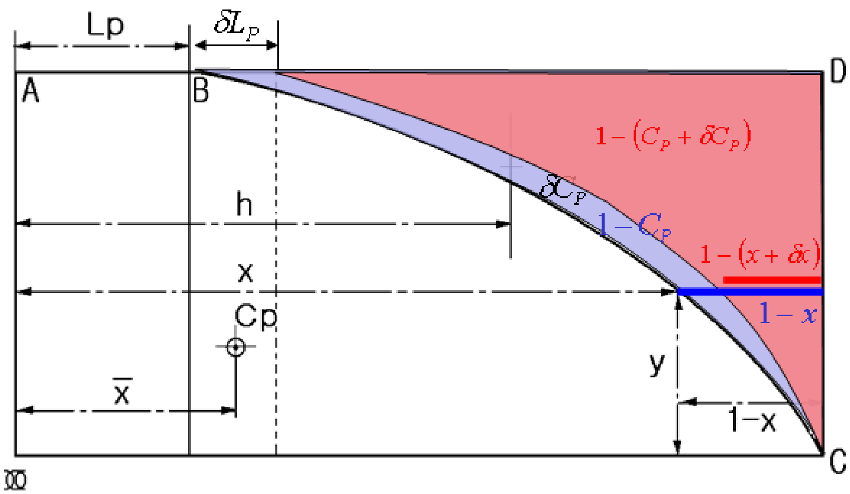
$$\delta C_{Pf} = \frac{2\left[\delta C_P\left(h_a + LCB\right) + \delta LCB\left(C_P + \delta C_P\right)\right]}{h_f + h_a}$$

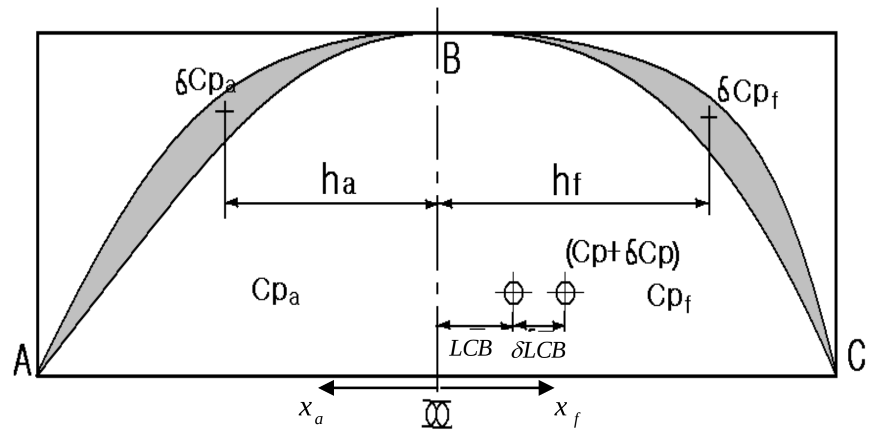
$$\delta C_{Pa} = \frac{2\left[\delta C_P\left(h_f + LCB\right) + \delta LCB\left(C_P + \delta C_P\right)\right]}{h_f + h_a}$$

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

Given : 전체 선박에 대한 $C_P,\ \delta C_P,\ \bar{x},\ L_P,\ y$

Find : δx





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"

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

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

$C_P = C_b / C_m$

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

x : Midship 으로부터 임의의 횡단면까지의 거리

$\bar{x}$: Midship 으로부터 반폭선형의 도심까지의 거리

y : x에 위치한 횡단면의 면적비 , 이때 면적비은 중앙부 횡단면적으로 나눈값

δC_P : C_P의 변화량

δL_P : L_P의 변화량

δx : Midship 으로부터 거리 x에 위치한 횡단면이 이동한 거리 ,

즉, δC_P를 만족하는 횡단면의 이동거리

h : Midship 으로부터 δC_P의 중심까지의 거리

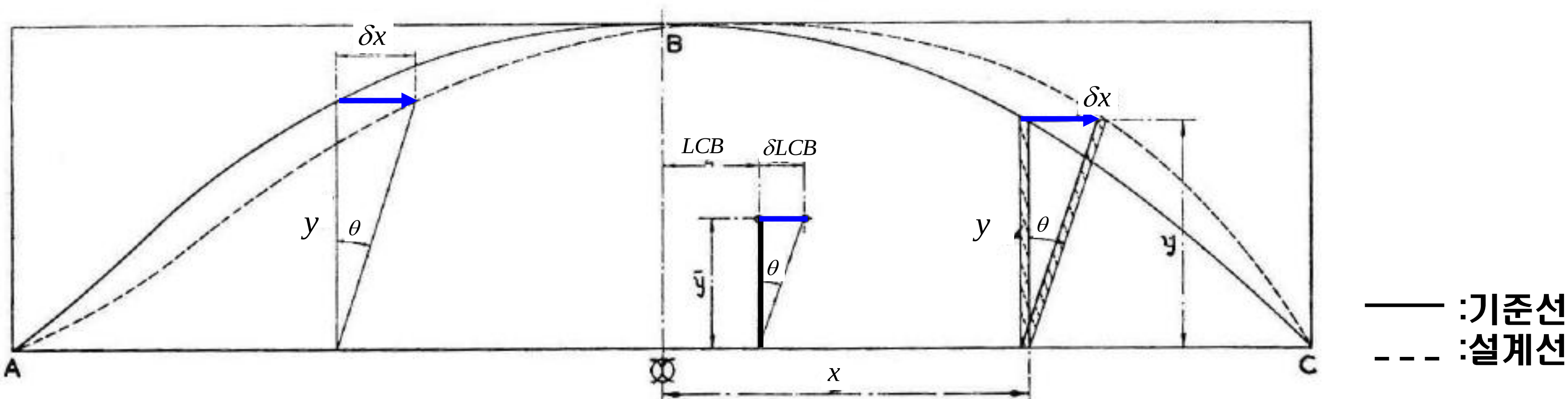
참고 문헌: Lackenby, Variation of ship form, 1950, LINA

선형 변환 방법

"Swing Method"

③ Swing ‘Swing station 방법’을 이용하여 횡단면 형상을길이방향으로 ‘Shift’ 시켜 LCB를 조정한다. →배수량의 변경 없이 LCB 만을 변경하고자 제안된 방법

기존선형의 단면을 단면적 곡선에서 수평으로 동일한 각도 θ 만큼을 이동량으로 취한다.



δLCB : the required change in LCB position

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

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

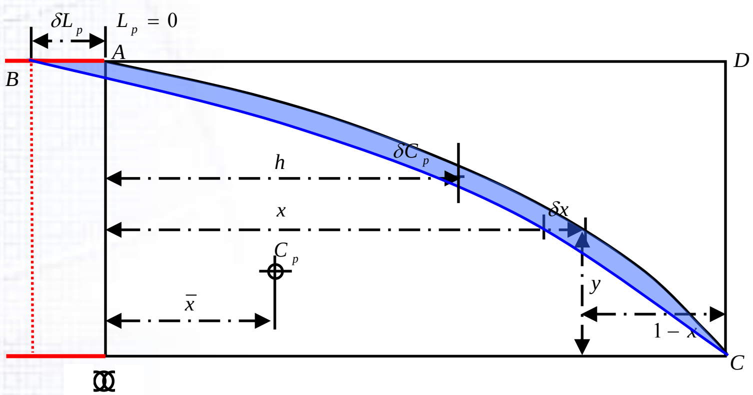
→ $\bar{y}$:각 흘수에서의 수선면적을 높이 방향의 1차 모멘트를 구하고, 이를 배수용적으로 나누어 구함(KB, VCB) (단, 여기서는 Normalizing하여 사용함)

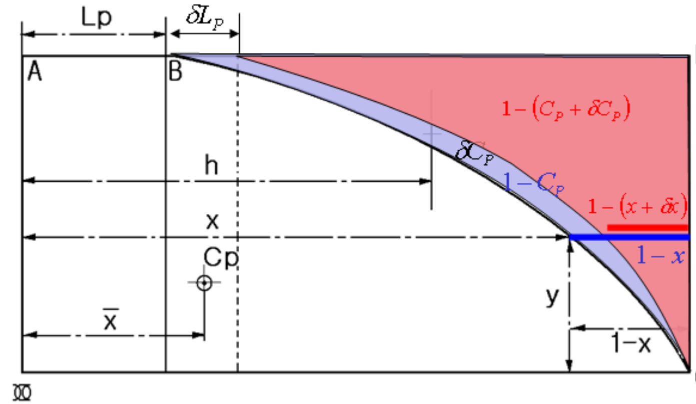
$$\tan\theta = \frac{\delta LCB}{\bar{y}} = \frac{\delta x}{y}$$

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

선형 변환 방법
"1−C_p" 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 : Midship 으로부터 임의의 횡단면까지의 거리

$\bar{x}$: Midship 으로부터 반폭선형의 도심까지의 거리

y : x에 위치한 횡단면의 면적비 , 이때 면적비은 중앙부 횡단면적으로 나눈값

δC_p : C_p의 변화량

δL_p : L_p의 변화량

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

h : *Midship* 으로부터 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_p곡선의 배수량의 길이 방향 분포는 설계자에 의하여 임의로 제어할 수 없다.

선형 변환 방법

"Lackenby 방법" – General Case (1)

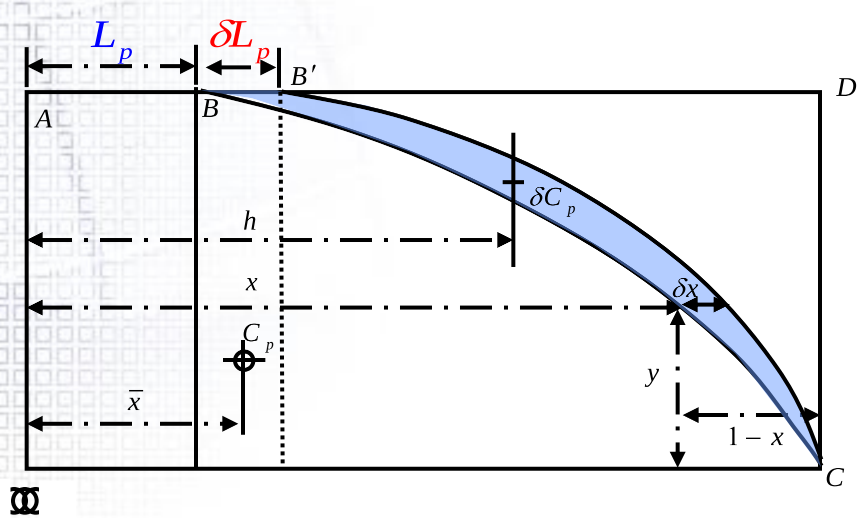
"1-Cp"방법

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

<General Case>

Basis Form: Any extent of parallel middle body

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



x : the fractional distance of any transverse section form midships

C_p : the prismatic coeffcient of the half - body

δC_p : the required change in prismatic coefficient of the half - body

p : the length of parallel middle of the half - body

δp : the required change in the length of paralel middle of the half - body

$\bar{x}$: the lever of the first moment

<특징>

1) Parallel Middle Body(L_p)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.

①

$$\delta x = (1-x)\left\{\frac{\delta L_p}{1-L_p} + \frac{x-L_p}{A}\left[\delta C_P - \delta L_p\frac{(1-C_P)}{(1-L_p)}\right]\right\}$$

$$,(A = C_P(1-2\bar{x}) - L_p(1-C_P))$$

→ 식에 Parallel Middle Body의 변화 량(δL_p)이 포함되어있음

*수식에 대한 유도 및 증명은 Lackenby, Variation of ship form, 1950, RINA를 참고할것

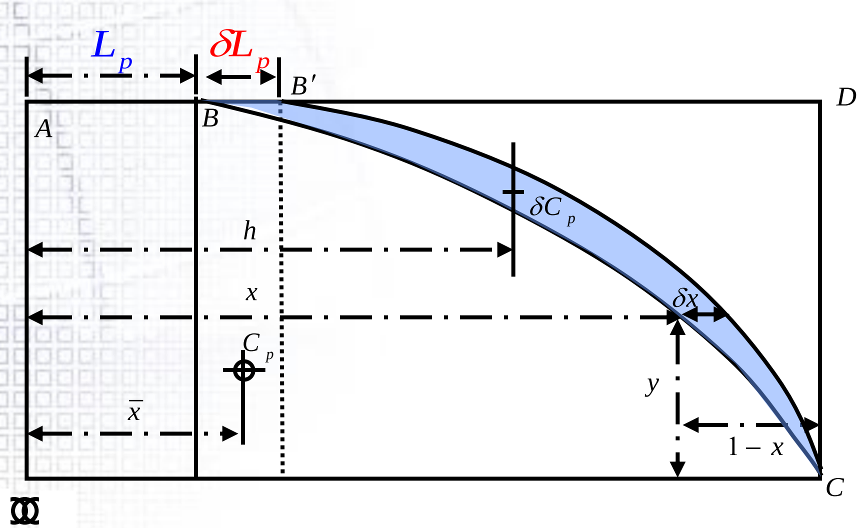
선형 변환 방법

"Lackenby 방법" – General Case (2)

<General Case>

Basis Form: Any extent of parallel middle body

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



x : the fractional distance of any transverse section form midships

C_p : the prismatic coeffcient of the half - body

δC_p : the required change in prismatic coefficient of the half - body

p : the length of parallel middle of the half - body

δp : the required change in the length of paralel middle of the half - body

$\bar{x}$: the lever of the first moment

"1-Cp"방법

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

"Lackenby 방법" <General Case>

$$\delta x = (1-x)\left\{\frac{\delta L_p}{1-L_p} + \frac{x - L_p}{A}\left[\delta C_p - \delta L_p \frac{(1-C_p)}{(1-L_p)}\right]\right\}$$

$$,(A = C_p(1-2\bar{x}) - L_p(1-C_p))$$

② 부가된 면적에 대한 중앙에서 부터 도심까지의 거리, h

$$h = C_p \cdot \left(\frac{B}{C_p}\left[1 - \frac{\delta L_p \cdot (1-C_p)}{\delta C_p \cdot (1-L_p)}\right] + \frac{\delta L_p \cdot (1-2\bar{x})}{\delta C_p \cdot (1-L_p)}\right)$$

$$,B = \frac{C_p \cdot \left[2\bar{x} - 3k^2 - L_p \cdot (1-2x)\right]}{A}$$

③ 이 방법에 의한 C_p곡선 변화의 한계범위

$$\delta C_p = \frac{\delta L_p \cdot (1-C_p) \pm A \cdot \left[1 - \frac{\delta L_p}{1-L_p}\right]}{1-L_p}$$

④ 실제 유용하게 사용하는 C_p곡선 변화 범위

$$\delta C_p = \frac{\delta L_p \cdot (1-C_p) \pm \frac{A}{2} \cdot \left[1 - \frac{\delta L_p}{1-L_p}\right]}{1-L_p}$$

*수식에 대한 유도 및 증명은 Lackenby, Variation of ship form, 1950, RINA를 참고할것

선형 변환 방법

"Lackenby 방법" – Special Case (1)

"1-Cp"방법

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

"Lackenby 방법" <General Case>

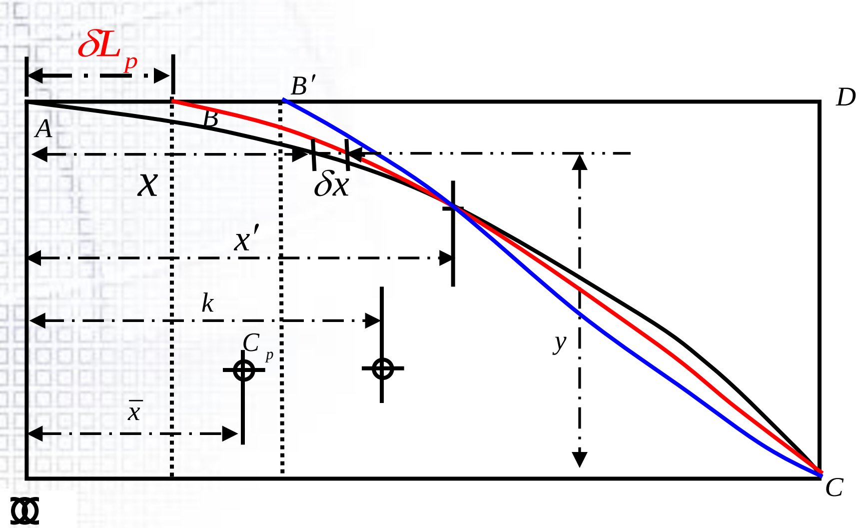
$$\delta x = (1-x)\left\{\frac{\delta L_p}{1-L_p} + \frac{x - L_p}{A}\left[\delta C_P - \delta L_p \frac{(1-C_P)}{(1-L_p)}\right]\right\}$$

$$,(A = C_P(1-2\bar{x}) - L_p(1-C_P))$$

<Special Case 1>

Basis Form: No parallel middle in the half-body $,(L_p = 0)$

Derived From: Required to introduce parallel middle body equal to δL_p keeping C_p constant



x : the fractional distance of any transverse section form midships

C_p : the prismatic coeffcient of the half-body

δC_p : the required change in prismatic coefficient of the half-body

p : the length of parallel middle of the half-body

δp : the required change in the length of paralel middle of the half-body

$\bar{x}$: the lever of the first moment

①

$$\delta x = \delta L_p \cdot (1-x)\left[1 - \frac{x \cdot (1-C_p)}{C_p \cdot (1-2\bar{x})}\right]$$

② 변형된 곡선은 아래 점에서 교차한다.

$$x' = \frac{C_p \cdot (1-2\bar{x})}{1-C_p}$$

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

$$\delta\bar{x} = -\delta L_p \cdot \left[\frac{(1-C_p)\cdot(2\bar{x} - 3k^2)}{C_p \cdot (1-2\bar{x})} - (1-2\bar{x})\right]$$

k : 기준선의 C_p에서 곡률 반경 (2차 모멘트의 중심)

*수식에 대한 유도 및 증명은 Lackenby, Variation of ship form, 1950, RINA를 참고할것

선형 변환 방법

"Lackenby 방법" – Special Case (2)

"1-Cp"방법

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

"Lackenby 방법" <General Case>

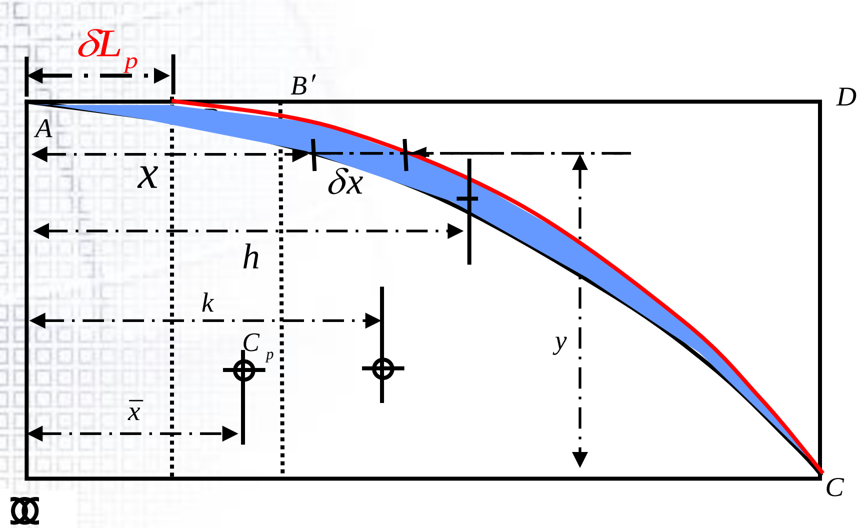
$$\delta x = (1-x)\left\{\frac{\delta L_p}{1-L_p} + \frac{x - L_p}{A}\left[\delta C_p - \delta L_p \frac{(1-C_p)}{(1-L_p)}\right]\right\}$$

$$,(A = C_p(1-2\bar{x}) - L_p(1-C_p))$$

<Special Case 2>

Basis Form: No parallel middle in the half-body $,(L_p = 0)$

Derived From: Required to introduce an amount of parallel middle body equal to δL_p change C_p by δC_p



x : the fractional distance of any transverse section form midships

C_p : the prismatic coeffcient of the half - body

δC_p : the required change in prismatic coefficient of the half - body

p : the length of parallel middle of the half - body

δp : the required change in the length of paralel middle of the half - body

$\bar{x}$: the lever of the first moment

①

$$\delta x = (1-x)\left[\delta L_p + \frac{\delta C_p - \delta L_p(1-C_p)\cdot x}{C_p \cdot (1-2\bar{x})}\right]$$

② Midship으로부터 δC_p 의 중심까지의 거리(h) (근사식)

$$h = \left[\frac{1 - \frac{\delta L_p}{\delta C_p}\cdot(1-C_p)}{1-2\bar{x}}\right]\cdot(2\bar{x} - 3k^2) + \frac{\delta L_p}{\delta C_p}\cdot C_p \cdot (1-2\bar{x})$$

*수식에 대한 유도 및 증명은 Lackenby, Variation of ship form, 1950, RINA를 참고할것

선형 변환 방법
"Lackenby 방법" – Special Case (3)

"1-Cp"방법

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

"Lackenby 방법" <General Case>

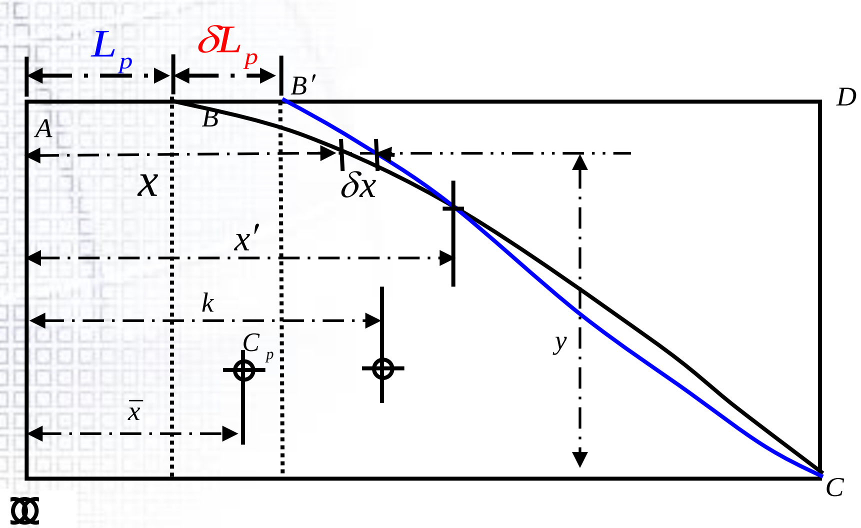
$$\delta x = (1-x)\left\{\frac{\delta L_p}{1-L_p} + \frac{x-L_p}{A}\left[\delta C_P - \delta L_p \frac{(1-C_p)}{(1-L_p)}\right]\right\}$$

$$,\left(A = C_P(1-2\bar{x}) - L_p(1-C_P)\right)$$

<Special Case 3>

Basis Form: parallel middle in the half-body equal to L_p

Derived From: Required to change L_p to δL_p keeping C_p constant



x : the fractional distance of any transverse section form midships

C_p : the prismatic coeffcient of the half - body

δC_p : the required change in prismatic coefficient of the half - body

p : the length of parallel middle of the half - body

δp : the required change in the length of paralel middle of the half - body

$\bar{x}$: the lever of the first moment

① $$\delta x = \frac{\delta L_p \cdot (1-x)}{1-L_p}\left[1 - \frac{(1-C_p)\cdot(x-L_p)}{C_p\cdot(1-2\bar{x}) - L_p\cdot(1-C_p)}\right]$$

② **변형된 곡선은 아래 점에서 교차한다.**

$$x' = \frac{C_p\cdot(1-2\bar{x})}{1-C_p}$$

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

$$\delta\bar{x} = \frac{-\delta L_p}{1-L_p}\cdot\left[\frac{(1-C_p)\cdot\left[2\bar{x} - 3k^2 - L_p(1-2\bar{x})\right]}{C_p\cdot(1-2\bar{x}) - L_p\cdot(1-C_p)} - (1-2\bar{x})\right]$$

k : 기준선의 C_p에서 곡률 반경 (2차 모멘트의 중심)

*수식에 대한 유도 및 증명은 Lackenby, Variation of ship form, 1950, RINA를 참고할것

선형 변환 방법

“Lackenby 방법” – Special Case (4)

“1-Cp”방법

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

“Lackenby 방법” <General Case>

$$\delta x = (1-x)\left\{\frac{\delta L_p}{1-L_p} + \frac{x - L_p}{A}\left[\delta C_p - \delta L_p \frac{(1-C_p)}{(1-L_p)}\right]\right\}$$

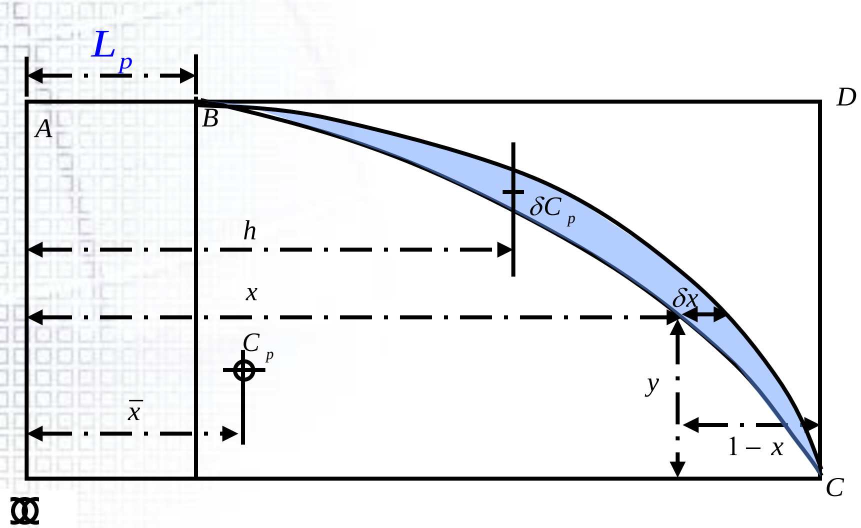
$$,(A = C_p(1-2\bar{x}) - L_p(1-C_p))$$

<Special Case 4>

Basis Form: parallel middle in the half-body equal to L_p

Derived From: Required to change L_p constant $,(\delta L_p = 0)$

change C_p by δC_p



x : the fractional distance of any transverse section form midships

C_p : the prismatic coeffcient of the half - body

δC_p : the required change in prismatic coefficient of the half - body

p : the length of parallel middle of the half - body

δp : the required change in the length of paralel middle of the half - body

$\bar{x}$: the lever of the first moment

①

$$\delta x = \frac{\delta C_p (1-x)(x - L_p)}{C_p \cdot (1-2\bar{x}) - L_p \cdot (1 - C_p)}$$

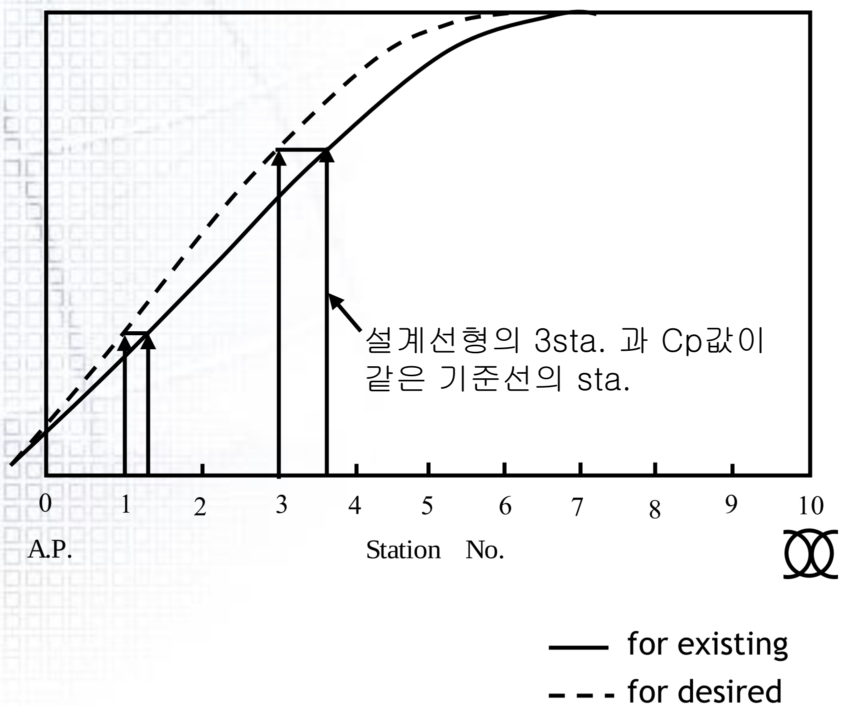
② Midship으로부터 δC_p 의 중심까지의 거리(h) (근사식)

$$h = \frac{C_p \cdot \left[2\bar{x} - 3k^2 - L_p \cdot (1 - 2\bar{x})\right]}{C_p \cdot (1-2\bar{x}) - L_p \cdot (1 - C_p)}$$

*수식에 대한 유도 및 증명은 Lackenby, Variation of ship form, 1950, RINA를 참고할것

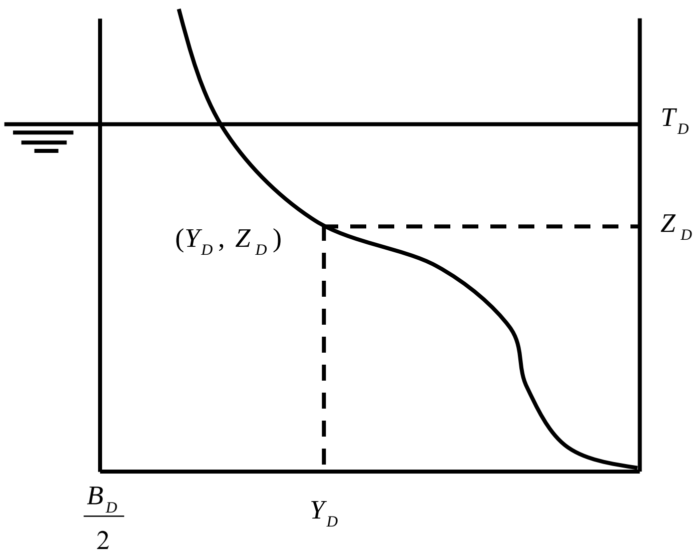
Body plan(정면 선도) 설계

Cp곡선으로 부터 설계선형의 station 구하기



•설계선형의 station에 해당하는 횡단면을 기준선형의 수선면을 이용하여 보간하여 구한다.

B및 T의 차이에 대한 수정을 가하여 설계선형의 정면도를 설계한다.



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

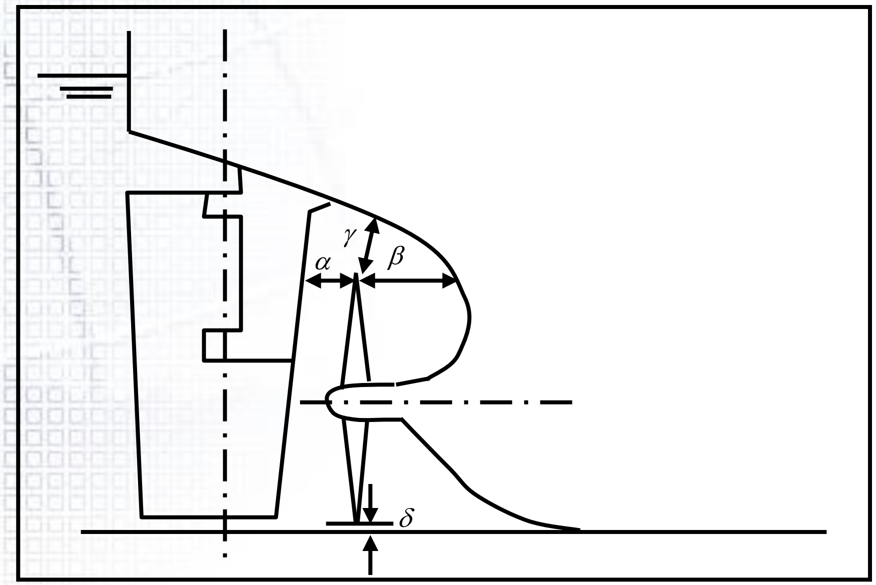
$$Y_D = Y_E \cdot \frac{B_D}{B_E}$$

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

선형 변환 방법
"1−C_P" 변환 방법 예제

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

: Simpson 제 1 법칙의 유도

①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
Station	Fractional Area	S.M.	Function of volume [②*③]	Fractional lever	Functions of moments First [④*⑤]	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**

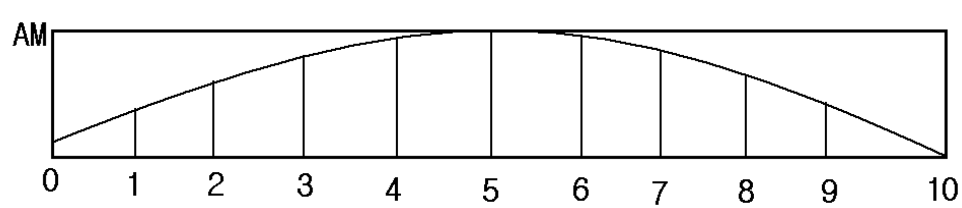
단, LBP를 2로 두고, 값들을 Scaling 하여 사용함

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" 변환 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

station**별 횡단면적 값**

$\sum ④_f = 10.5159$

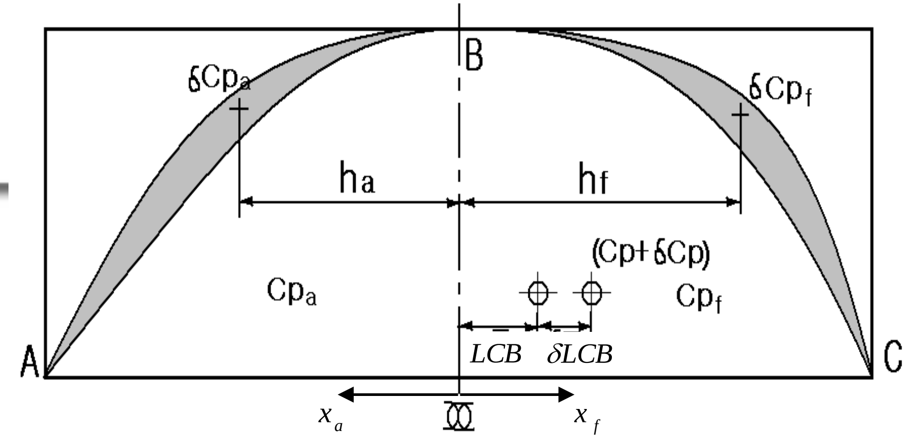
$\sum ④_a = 10.33043$

$\sum ④ = 20.84633$

1) **기준선의** C_P**및** C_P**의 변화량** $,\delta C_P$

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

$S : Simson$ 적분 간격 $= \frac{L}{10}$ $\quad \sum ④$:Total sum of function of volume



x_a, x_f**의 부호는** Midship **에서멀어지는방향을**+**로한다.**

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

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

$$= 0.69489$$

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

$$= 0.00989$$

선형 변환 방법

“1−C_P” 변환 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)

$h_a = 0.57838$

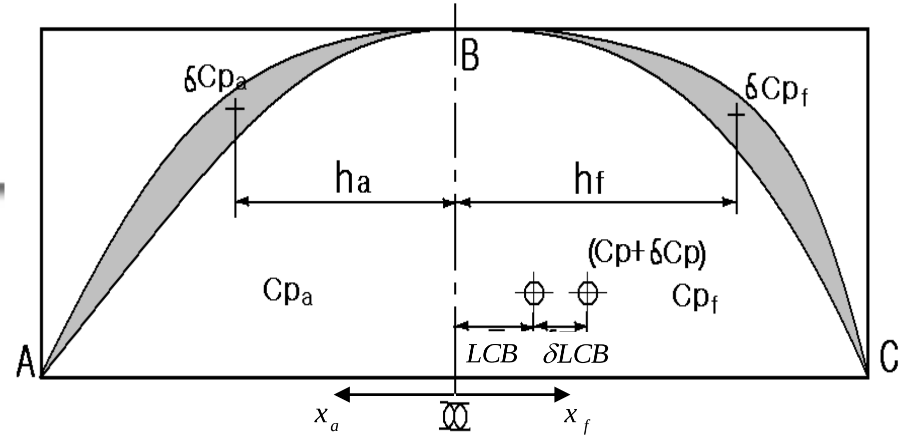
$\delta C_p = 0.00989$

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 적분 간격 $= \frac{L}{10}$

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



x_a, x_f의 부호는 Midship 에서 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" 변환 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

station**별 횡단면적 값**

$\sum ④_f = 10.5159$

$\sum ④_a = 10.33043$

$\sum ④ = 20.84633$

1)

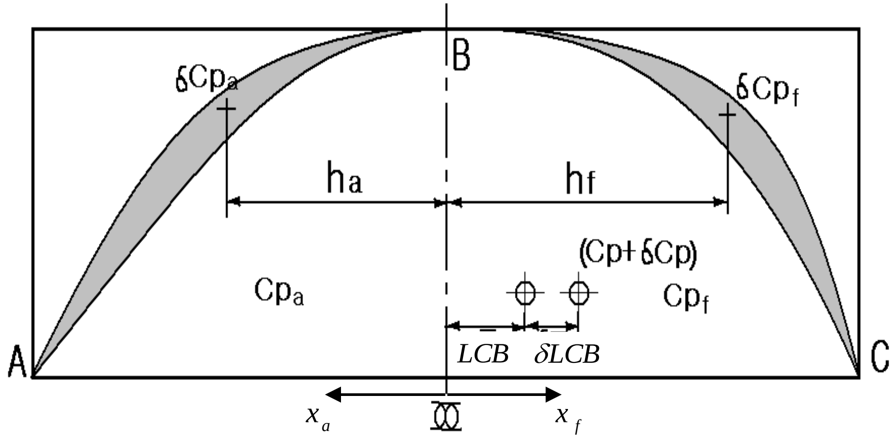
$C_P = 0.69489$

$\delta C_p = 0.00989$

2)

$C_{P_f} = 0.70106$

$C_{P_a} = 0.68870$



x_a, x_f의 부호는 Midship 에서 멀어지는 방향을 + 로 한다.

3) LCB및 LCB의 변화량, δLCB

$$LCB = \frac{\text{길이방향 1차 모멘트}}{\nabla} = \frac{(3.96783) - (3.81483)}{20.84633} = \underline{0.00734}$$

선미부 길이방향1차 모멘트의 방향을 바꾸어 계산

LCB는 변화하지 않으므로,

$$\delta LCB = \underline{0}$$

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

선형 변환 방법

"1-C_P" 변환 방법 예제

질문 1. C_B를 0.7로 변환시켰을때 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

station**별 횡단면적 값**

$\sum ④_f = 10.5159$

$\sum ④_a = 10.33043$

$\sum ④ = 20.84633$

1)

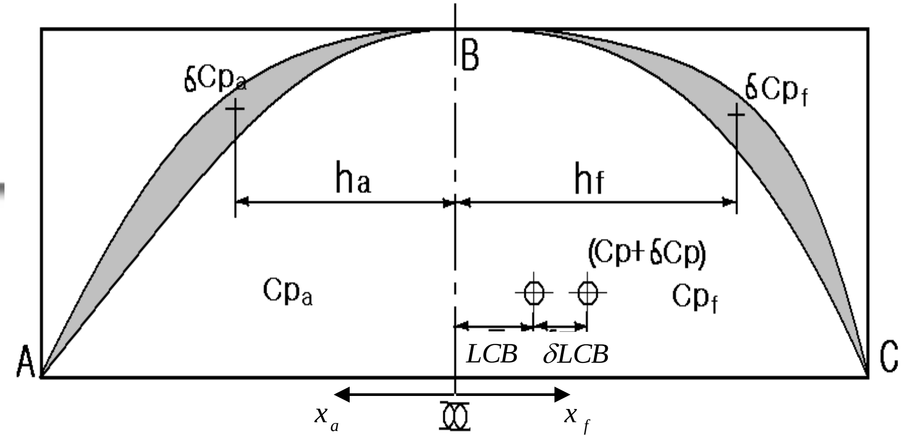
$$C_P = 0.69489$$
$$\delta C_p = 0.00989$$

2)

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

3)

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



x_a, x_f 의 부호는 Midship 에서 멀어지는 방향을 + 로 한다.

4) $\bar{x}$

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

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

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

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

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

선형 변환 방법
"1−C_P" 변환 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

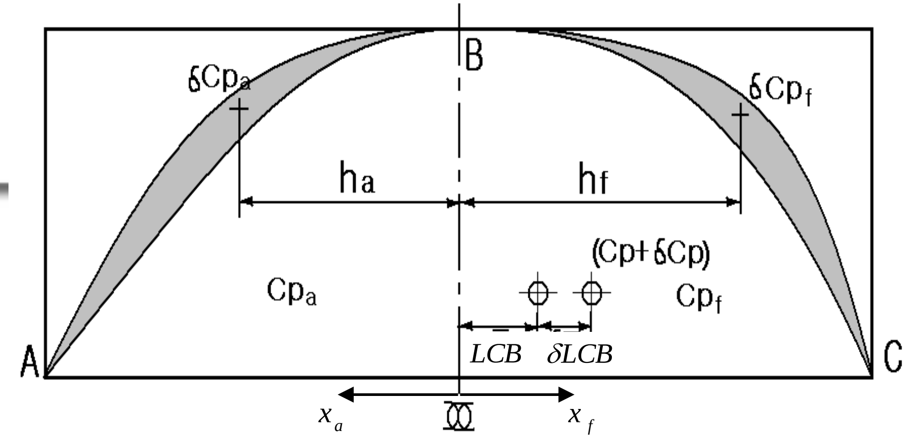
station별 횡단면적 값

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 Midship 에서 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" 변환 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

station**별 횡단면적 값**

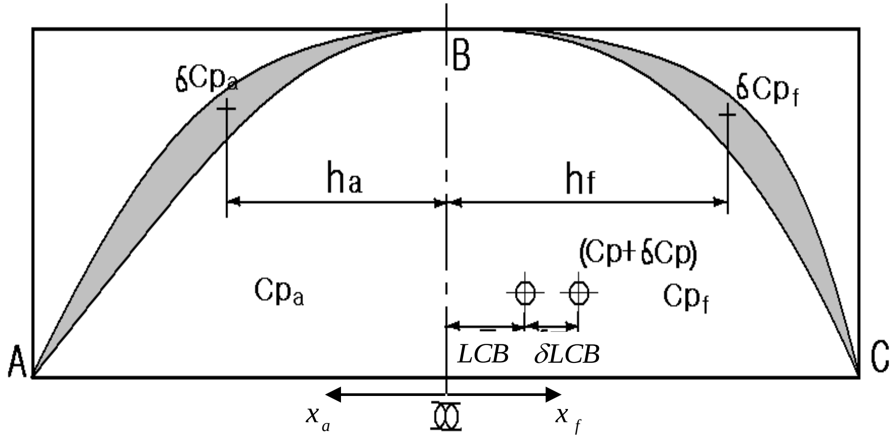
1) $C_P = 0.69489$, $\delta C_p = 0.00989$

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



x_a, x_f의 부호는 Midship 에서 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” 변환 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

station**별 횡단면적 값**

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

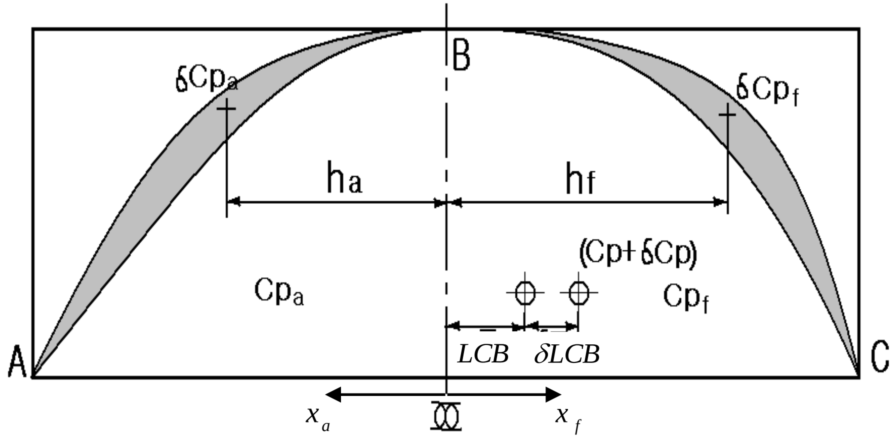
2)
$$C_{P_f} = 0.70106 \qquad C_{P_a} = 0.68870$$

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

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

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

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



x_a, x_f의 부호는 Midship 에서 멀어지는 방향을 + 로 한다 .

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

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

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

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

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

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

선형 변환 방법
"1-C_p" 변환 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) $C_{P_f} = 0.70106$, $C_{P_a} = 0.68870$

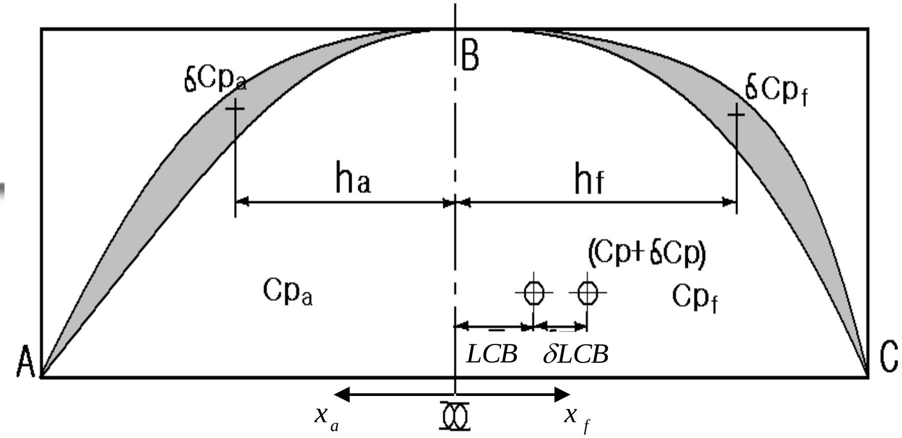
3) $LCB = 0.00734$, $\delta LCB =$?

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_f의 부호는 Midship 에서 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,

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

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

선형 변환 방법
“1−Cp” 변환 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) $C_{P_f} = 0.70106$, $C_{P_a} = 0.68870$

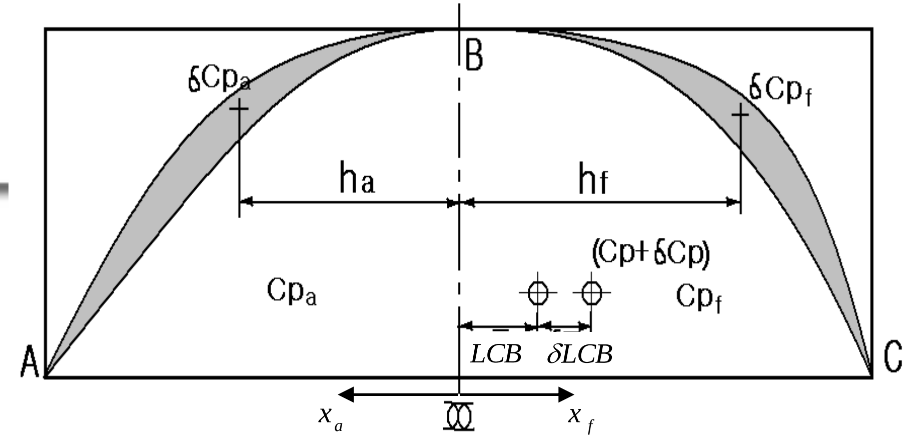
3) $LCB = 0.00734$, $\delta LCB = -0.04706$

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_f의 부호는 Midship 에서 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" 변환 방법 예제

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

Given :

LBP = 85m, B_{mld} = 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)
$C_{P_f} = 0.70106$
$C_{P_a} = 0.68870$

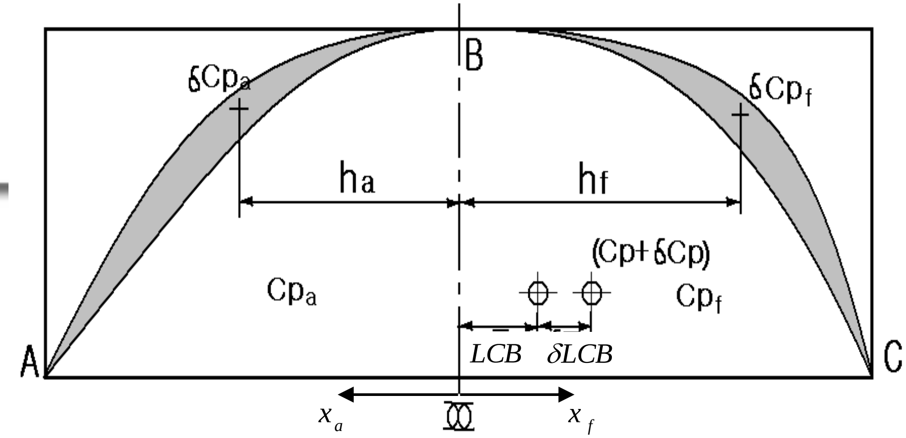
3)
$LCB = 0.00734$
$\delta LCB = -0.04706$

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 Midship 에서 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

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

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

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