



[2008] [04-2]

Planning Procedure of Naval Architecture & Ocean Engineering

September, 2008

Prof. Kyu-Yeul Lee

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



Part 1. Stability & Trim

[04-2] Term Project 2

**:Programming for calculation of
the hydrostatic force in various ship position**

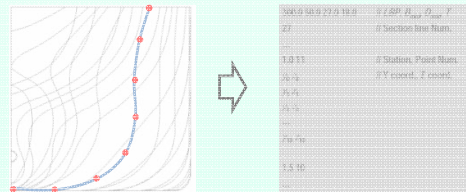
1차 Term project
선박 형상 가시화 프로그램 작성

Given: 선박의 Body Plan, 선박의 자세

Find: 선박의 자세에 따른 선박 및 수선면 가시화

(1) 선박의 Body Plan으로부터 단면 곡선상의 점 추출

(2) 선형 단면 정의 파일 생성



(3) 추출한 점을 보간 하는 3차 B-spline곡선 생성

> B-spline Library제공

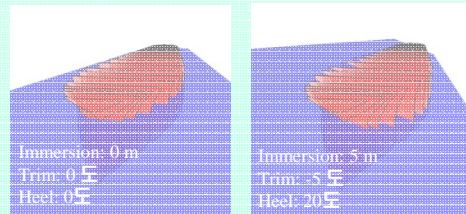
(4) 선박의 자세 변환 행렬 계산

Global Coordinate → Body Fixed Coordinate

Body Fixed Coordinate → Global Coordinate

(5) 선박의 자세에 따른 선박 및 수선면 가시화

> OpenGL 가시화 Library제공

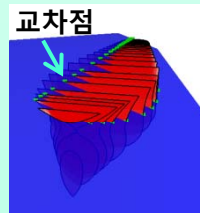


2차 Term project
선박 유체 정역학적 힘 계산 프로그램 작성

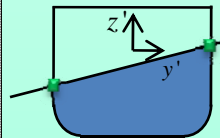
Given: 1차 Term project 까지의 결과

Find: 선박 유체 정역학적 힘 및 LCB, TCB, KB계산

(1) 수선면과 선박의 단면곡선의 교차계산

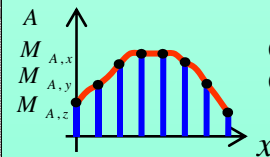


(2) 수선면 아래의 선박 단면적 및 면적 1차 모멘트 계산



Green's Theorem
Gaussian Quadrature

(3) 면적 및 면적 1차 모멘트를 길이 방향으로 적분하여 부피 및 부피 1차 모멘트 계산



Green's Theorem
Gaussian Quadrature

(4) 선박 유체 정역학적 힘 및 LCB, TCB, KB 계산

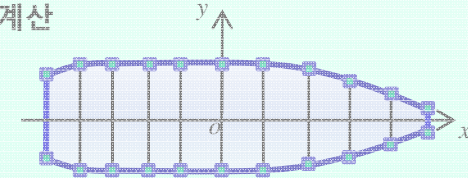
3차 Term project.

배수량 등곡선도 계산 및 Hydrostatics Table 출력 프로그램 작성

Given: 2차 Term project 까지의 결과

Find: Hydrostatics Particulars 계산 및 배수량 등곡선도, Hydrostatics Table 작성

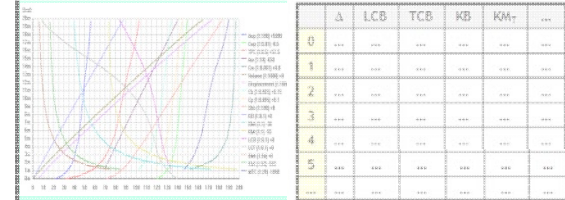
(1) 수선면적 및 면적 1차, 2차 모멘트 계산



(2) Hydrostatics particulars 계산

A_{wp} , C_{wp} , TPC, A_m , C_m ,
Displacement Volume,
Displacement, C_b , C_p , KB,
 BM_T , KM_T , LCB, LCF, BM_L ,
 KM_L , MTC, WSA

(3) 흘수 변화에 따른 배수량 등곡선도 및 Hydrostatics Table 작성





<2차 Term project. 선박 유체 정역학적 힘 계산 프로그램>

Step 1. 수선면과 선박의 단면곡선의 교차 계산

Step 2. 수선면 아래의 선박 단면적 및 면적 1차 모멘트 구하기

Step 3. 면적 및 면적1차 모멘트를 길이방향으로 적분하여
부피(volume) 및 부피 1차 모멘트 구하기

Step 4. 선박 유체 정역학적 힘 및 LCB, TCB, KB 계산

2차 Term project. 선박 유체 정역학적 힘 계산 프로그램 작성

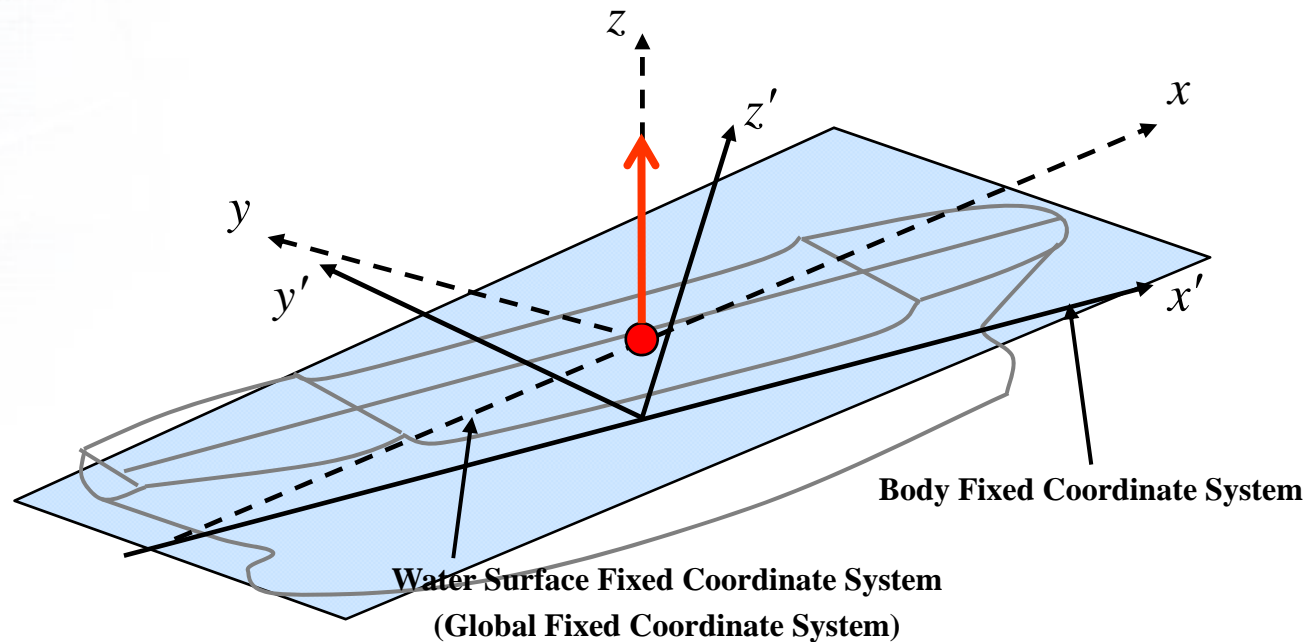
Step 1. 수선면과 선박의 단면곡선의 교차 계산

✓ 수선면 정의

: 수선면은 Global Coordinate의 xy 평면과 일치함

Global Coordinate에서의 수선면의 Origin은 $(0,0,0)$

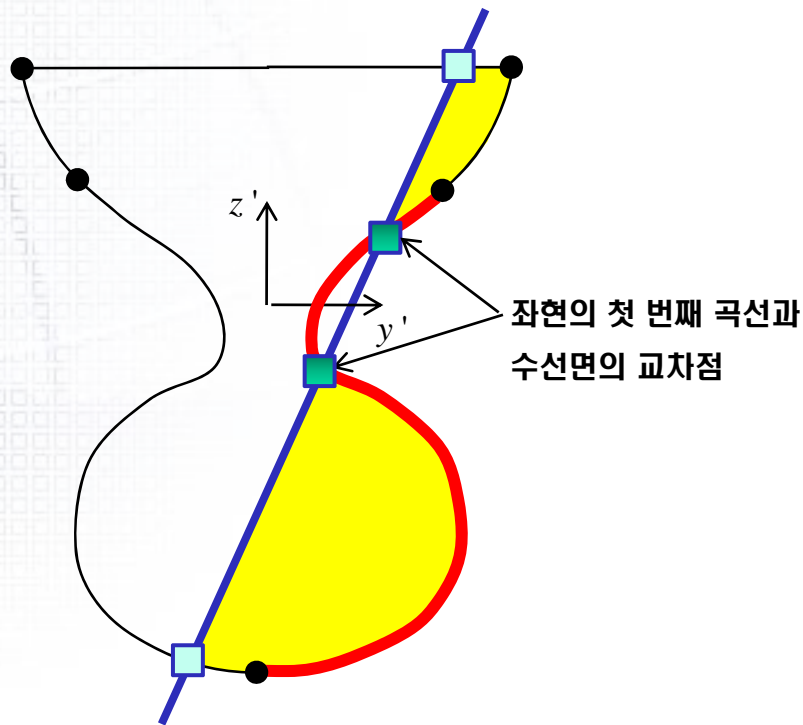
Global Coordinate에서의 수선면의 Normal vector는 $(0,0,1)$



2차 Term project. 선박 유체 정역학적 힘 계산 프로그램 작성

Step 1. 수선면과 선박의 단면곡선의 교차 계산

- Given: 1) B-spline class로 정의된 단면 곡선
2) Body-fixed coordinate에서의 수선면 Origin, Normal vector
- Find: 1) 곡선과 수선면의 교차점, 교차점의 B-spline parameter, u



● : 곡선상의 점

■ : 교차점

✓ B-spline class의 멤버함수인 Intersection() 함수를 이용하여 B-spline 곡선과 수선면의 교차계산을 수행함

✓ 교차계산을 수행하면, 교차점 및 교차점의 B-spline Parameter, u 가 저장됨

➤ B-spline Library 제공



<2차 Term project. 선박 유체 정역학적 힘 계산 프로그램>

Step 1. 수선면과 선박의 단면곡선의 교차 계산

Step 2. 수선면 아래의 선박 단면적 및 면적 1차 모멘트 구하기

Step 3. 면적 및 면적1차 모멘트를 길이방향으로 적분하여
부피(volume) 및 부피 1차 모멘트 구하기

Step 4. 선박 유체 정역학적 힘 및 LCB, TCB, KB 계산

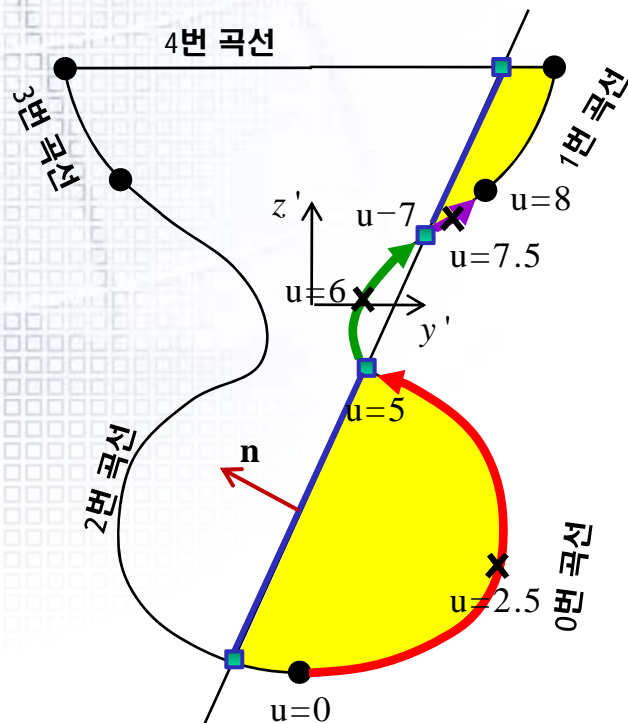
2차 Term project. 선박 유체 정역학적 힘 계산 프로그램 작성

Step 2. 수선면 아래의 선박 단면적 및 면적 1차 모멘트 구하기

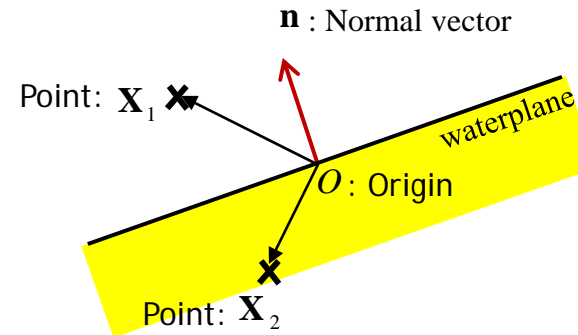
- Segment 곡선에 대한 선적분 여부 체크

Given: Segment 곡선의 시작과 끝의 Bspline parameter, u
 Find: Segment 곡선에 대한 선적분 여부 체크

✓ Segment 곡선의 중점(X 표시점)이 수선면 or 수선면 아래에 있을 때에만 선적분을 수행하도록 함



✓ 수선면에 대한 점의 위치(위 or 아래에 있는지) 판별 방법



✓ 수선면(Waterplane)의 법선 벡터(Normal vector)와 점의 위치벡터를 내적

$$\mathbf{n} \cdot (\mathbf{X} - \mathbf{O}) > 0 \quad \text{점이 수선면 위에 있음}$$

$$\mathbf{n} \cdot (\mathbf{X} - \mathbf{O}) \leq 0 \quad \text{점이 수선면 or 수선면 아래에 있음}$$

→ Calculation class의 PlaneEq(Vector N, Vector R0, Vector point)에서 수행

✓ Segment 곡선의 중점이 수선면의 위 or 아래에 있는지

판별하여 적분 여부 체크

→ 0번 곡선의 0번 Segment 곡선 : $\mathbf{n} \cdot (\mathbf{X} - \mathbf{O}) \leq 0 \rightarrow$ 적분 수행함

→ 0번 곡선의 1번 Segment 곡선 : $\mathbf{n} \cdot (\mathbf{X} - \mathbf{O}) > 0 \rightarrow$ 적분 수행 안 함

→ 0번 곡선의 2번 Segment 곡선 : $\mathbf{n} \cdot (\mathbf{X} - \mathbf{O}) \leq 0 \rightarrow$ 적분 수행 함

(X : 각 segment 곡선의 중점)

2차 Term project. 선박 유체 정역학적 힘 계산 프로그램 작성

Step 2. 수선면 아래의 선박 단면적 및 면적 1차 모멘트 구하기

- Gaussian quadrature

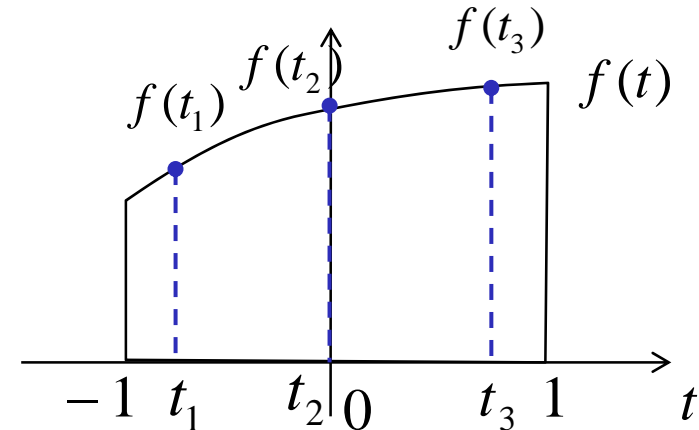
Given: 함수 $f(t)$

Find: 구간 $[-1, 1]$ 에서 $f(t)$ 의 적분

$$\int_{-1}^1 f(t) dt \approx \sum_{j=1}^n A_j \cdot f(t_j)$$

3차 Gaussian quadrature의 경우,

$$\int_{-1}^1 f(t) dt \approx A_1 \cdot f(t_1) + A_2 \cdot f(t_2) + A_3 \cdot f(t_3)$$

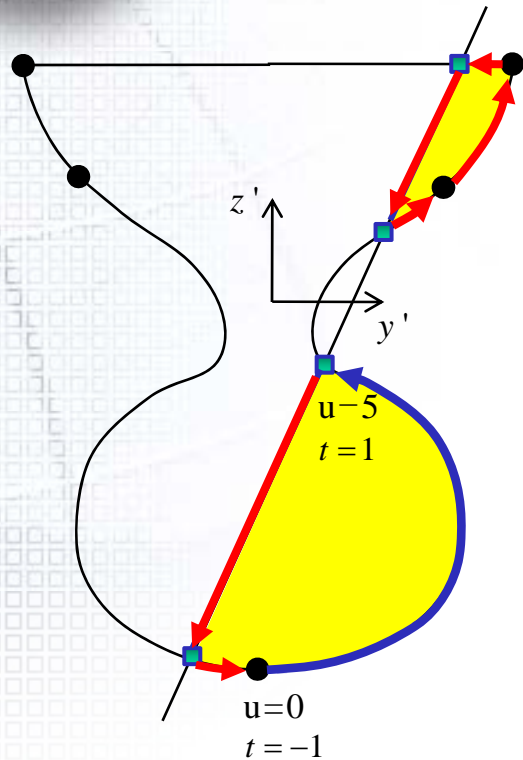


| n | Coefficients A_j | Node t_j |
|---|----------------------|-----------------------|
| 3 | $A_1 = 0.5555555556$ | $t_1 = -0.7745966692$ |
| | $A_2 = 0.8888888889$ | $t_2 = 0$ |
| | $A_3 = 0.5555555556$ | $t_3 = 0.7745966692$ |

2차 Term project. 선박 유체 정역학적 힘 계산 프로그램 작성

Step 2. 수선면 아래의 선박 단면적 및 면적 1차 모멘트 구하기

- Gaussian quadrature를 이용한 Segment곡선의 선적분 (1)



$$A = \iint_R dy' dz' \quad \text{<면적분>} \\ \Downarrow \text{Green's theorem} \\ = \frac{1}{2} \oint_C y' dz' - z' dy' \quad \text{<선적분>}$$

✓ 0번 곡선의 0번 Segment(파란색)곡선 에 대한 선적분을 해보자.

y'z' 좌표계에서 선적분하려면, min/max를 구해야 함.

▶Parameter *u*는 단순 증가이기 때문에, min/max를 구할 필요 없음.

▶Chain rule을 이용하여 *u*에 관한 적분으로 변환

$$\frac{1}{2} \int_0^5 y'(u) \frac{dz'}{du} du - z'(u) \frac{dy'}{du} du \\ = \frac{1}{2} \int_0^5 \left(y'(u) \frac{dz'}{du} - z'(u) \frac{dy'}{du} \right) du = \frac{1}{2} \int_0^5 g(u) du$$

▶Gaussian quadrature의 적분구간 [-1,1]에서의 *t*에 관한 적분으로 변환

$$\frac{1}{2} \int_{-1}^1 \left(y'(u(t)) \frac{dz'}{du} - z'(u(t)) \frac{dy'}{du} \right) \frac{du}{dt} dt = \frac{1}{2} \int_{-1}^1 f(t) dt$$

✓ Parameter *u*와 *t*의 관계식

$$u = \frac{(t+1)(u_{\max} - u_{\min})}{2} + u_{\min}$$

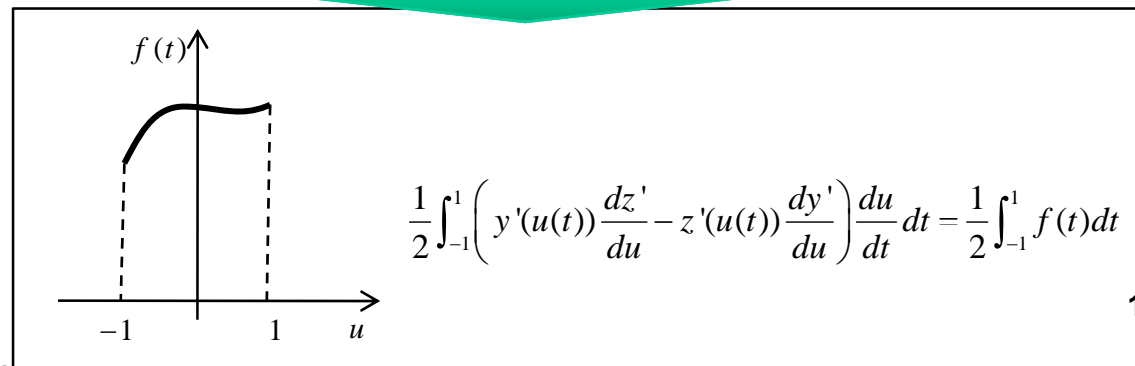
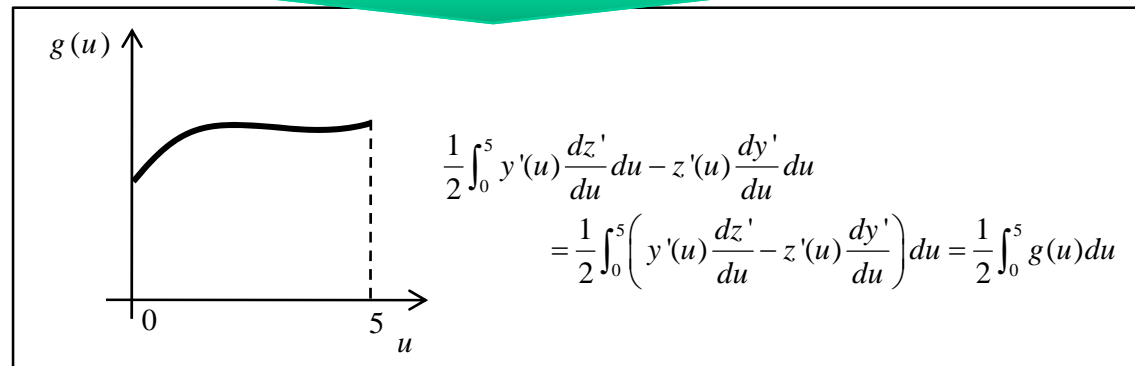
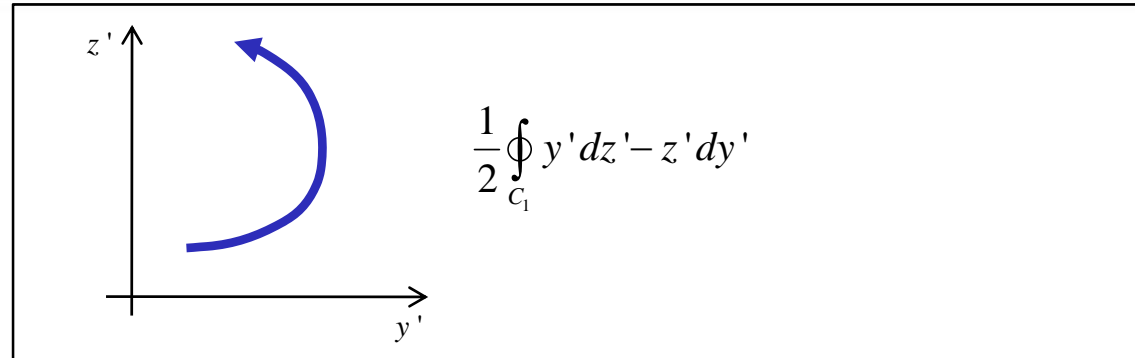
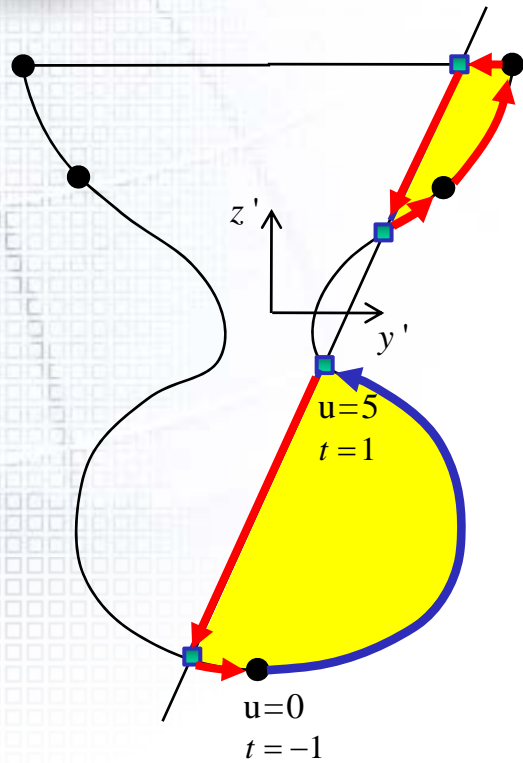
$$u = \frac{(t+1)(5-0)}{2} + 0$$

✓ 위와 동일하게 나머지 구간에 대해서도 적분을 수행함

2차 Term project. 선박 유체 정역학적 힘 계산 프로그램 작성

Step 2. 수선면 아래의 선박 단면적 및 면적 1차 모멘트 구하기

- Gaussian quadrature를 이용한 Segment곡선의 선적분 (2)





<2차 Term project. 선박 유체 정역학적 힘 계산 프로그램>

Step 1. 수선면과 선박의 단면곡선의 교차 계산

Step 2. 수선면 아래의 선박 단면적 및 면적 1차 모멘트 구하기

Step 3. **면적 및 면적1차 모멘트를 길이방향으로 적분하여
부피(volume) 및 부피 1차 모멘트 구하기**

Step 4. **선박 유체 정역학적 힘 및 LCB, TCB, KB 계산**

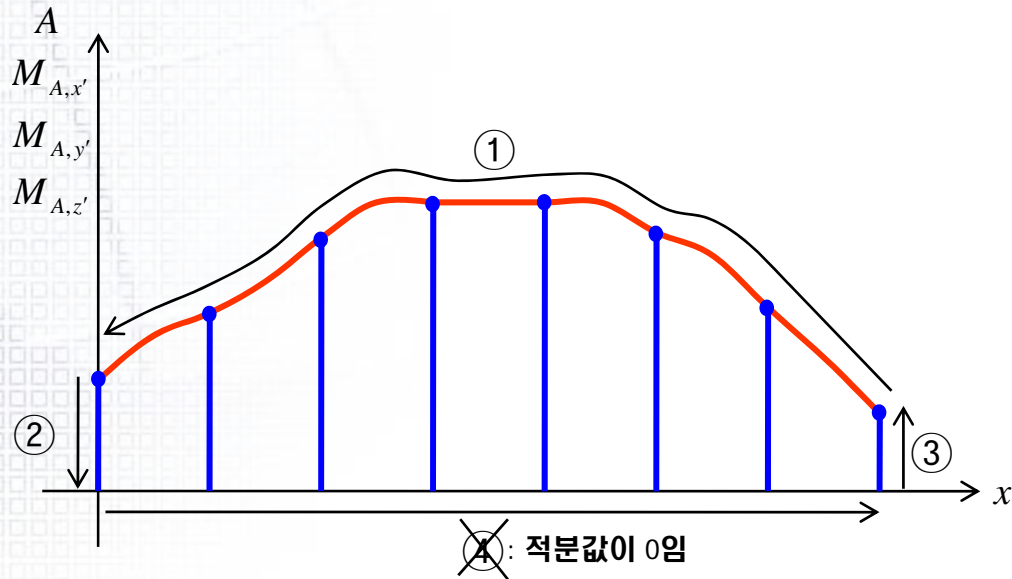
2차 Term project. 선박 유체 정역학적 힘 계산 프로그램 작성

Step 3. 면적 및 면적1차 모멘트를 길이방향으로 적분하여 부피(volume) 및 부피 1차 모멘트 구하기

Step 4. 선박 유체 정역학적 힘 및 LCB, TCB, KB 계산

Given: 수선면 아래의 선박 단면적 및 면적 1차 모멘트

Find: 수선면 아래의 선박 부피 (volume) 및 부피 1차 모멘트
선박 유체 정역학적 힘 및 LCB, TCB, KB



$$V = \nabla = \int A(x') dx' \quad M_{\nabla, x'} = \int M_{A, x'}(x') dx'$$

↑
Displacement
Volume

$$M_{\nabla, y'} = \int M_{A, y'}(x') dx'$$

$$M_{\nabla, z'} = \int M_{A, z'}(x') dx'$$

✓ Section의 침수 면적 및 면적1차 모멘트를 길이방향으로 적분하여 부피(volume) 및 부피 1차 모멘트를 구함

1) 각 Section의 면적, 면적 1차 모멘트를 선박의 길이 방향으로 ordinate를 세움

2) ordinate 값을 잇는 B-spline Curve 생성

3) Green's Theorem 과 Gaussian quadrature를 이용하여 반시계 방향으로 선적분

$$\text{Displacement: } \Delta = \rho_{sw} \cdot \nabla$$

$$LCB = \frac{M_{\nabla, x'}}{\nabla}, TCB = \frac{M_{\nabla, y'}}{\nabla}, VCB = \frac{M_{\nabla, z'}}{\nabla}$$

$$KB = VCB + T_d$$