



[2008] [05-1]

# Planning Procedure of Naval Architecture & Ocean Engineering

September, 2008

Prof. Kyu-Yeul Lee

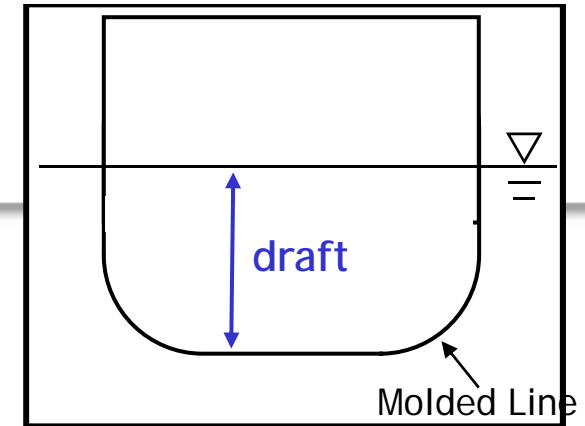
Department of Naval Architecture and Ocean Engineering,  
Seoul National University of College of Engineering



# Part 1. Stability & Trim

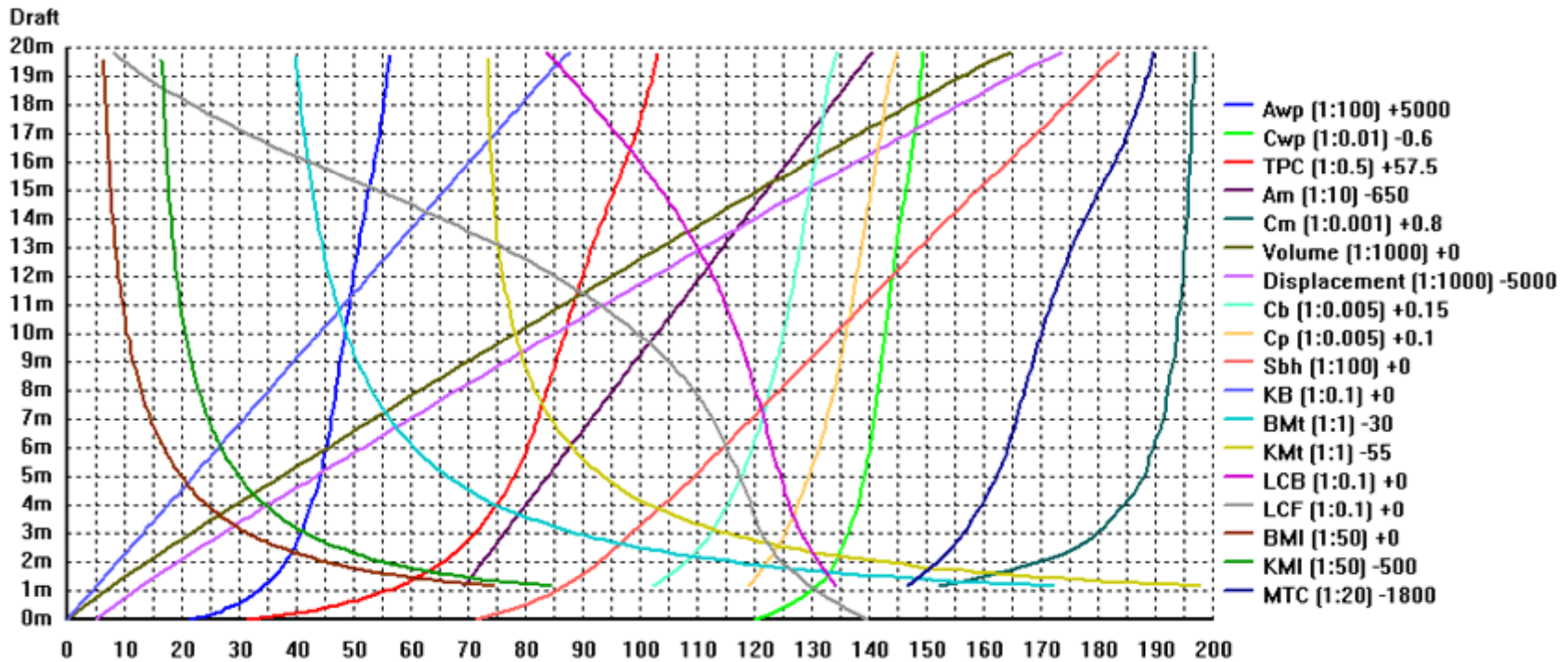
## [05-1] Hydrostatics values

# Hydrostatics Values

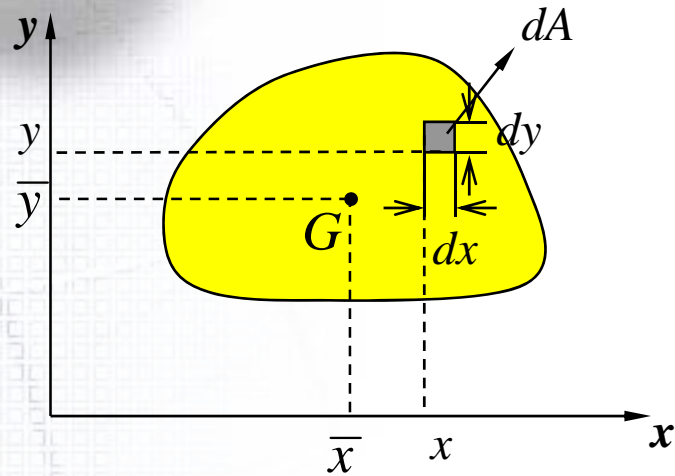


- **DRAFT MLD** : Draft from baseline , moulded (m)
- **DISP.MLD** : Displacement moulded ( $m^3$ )
- **DISP.EXT** : Displacement Extreme (tonnes) S.G. = 1.025
- **VCB** : Vertical Center of Buoyancy above Base line (m)
- **LCB** : Longi. Center of Buoyancy from midship ( -.AFT / +. FWD)
- **LCF** : Longi. Center of Floatation from midship ( -.AFT / +. FWD)
- **KM<sub>T</sub>** : Trans. Metarcenter height above base line (m)
- **KM<sub>L</sub>** : Long. Metarcenter height above base line (m)
- **MTC** : Moment to change trim one centimeter (Tonnes-m)
- **TPC** : increase in Disp.MLD per one centimeter immersion
- **WSA** : Wetted Surface Area ( $m^2$ )
- **C<sub>B</sub>** : Block Coefficient
- **C<sub>Wp</sub>** : Water plane Area Coefficient
- **C<sub>M</sub>** : Midship section area Coefficient
- **C<sub>P</sub>** : Prismatic Coefficient (주형 계수)

# Hydrostatics curve



# 면적, 면적 1차 모멘트, 면적 2차 모멘트



✓ 미소면적  $dA$

$$dA = dx dy$$

✓ 면적  $A$

$$A = \int dA = \iint dx dy$$

✓  $y$ 축에 대한  $x$ 방향 면적 1차 모멘트  $M_{A,x}$

$$M_{A,x} = \int x dA = \iint x dx dy$$

✓  $x$ 축에 대한  $y$ 방향 면적 1차 모멘트  $M_{A,y}$

$$M_{A,y} = \int y dA = \iint y dx dy$$

✓ 도심  $G$

$$G = \left( \frac{M_{A,x}}{A}, \frac{M_{A,y}}{A} \right) = (\bar{x}, \bar{y})$$

✓  $y$ 축에 대한  $x$ 방향 면적 2차 모멘트  $I_{A,x}$

$$I_{A,x} = \int x^2 dA = \iint x^2 dx dy$$

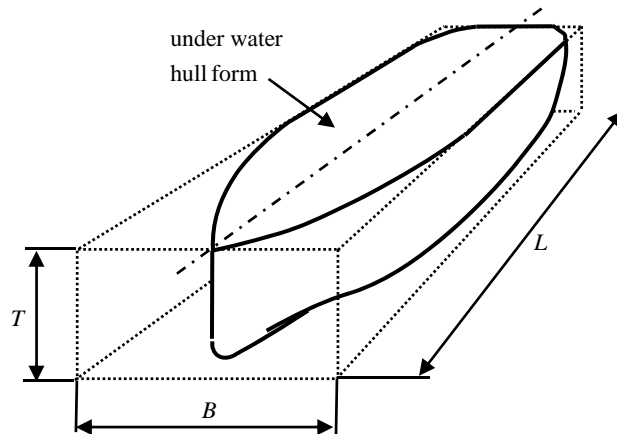
✓  $x$ 축에 대한  $y$ 방향 면적 2차 모멘트  $I_{A,y}$

$$I_{A,y} = \int y^2 dA = \iint y^2 dx dy$$

# Hydrostatics Values

-  $C_B$ (Block coeff.)와  $C_{WP}$ (Prismatic coeff.)

$C_B$  : Block coefficient



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

$\nabla$  = 형배수용적

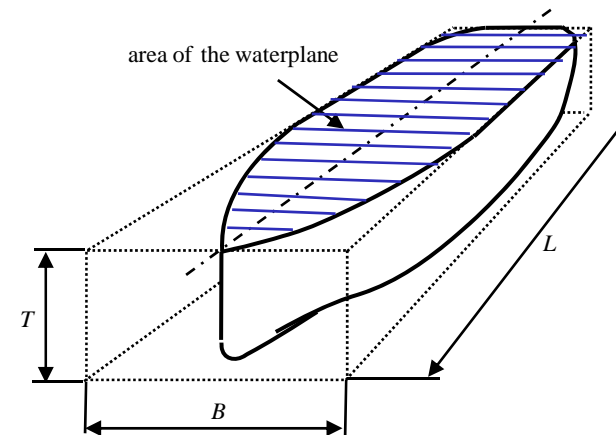
(moulded volume of displacement)

$L$  = 선박의 길이(LWL or LBP)

$B$  = 형폭

$T$  = 형흘수

$C_{WP}$  : Water plane Area Coefficient



$$C_{WP} = \frac{A_{WP}}{L \times B}$$

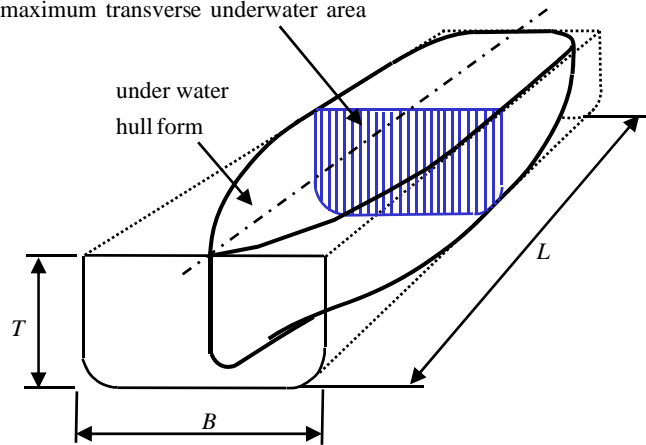
$A_{WP}$  = 수선면적

# Hydrostatics Values

-  $C_M$ (Midship section coeff.)와  $C_P$ (Prismatic coeff.)

## $C_M$ (Midship section coefficient)

$A_M$  : maximum transverse underwater area



$$C_M = \frac{A_M}{B \times T}$$

$B$  = 형폭

$T$  = 형흘수

$A_M$  = 선체 중양에서의 횡단면적

$C_M$  = 중양단면계수 (midship coefficient)

## $C_P$ (Prismatic coefficient)

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

$\nabla$  = 형배수용적

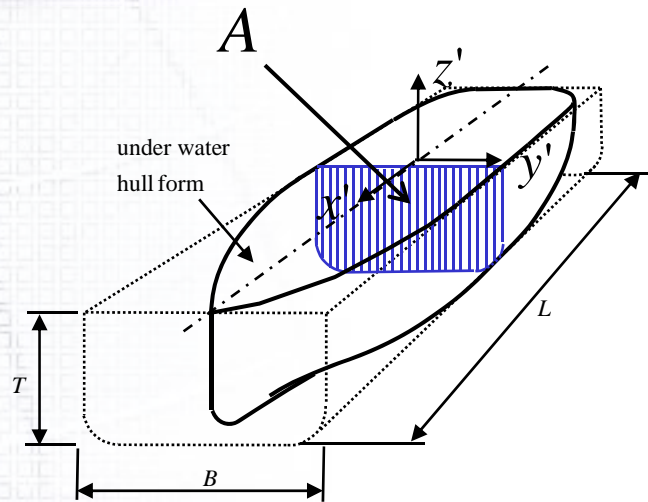
(moulded volume of displacement)

$L$  = 선박의 길이 (LWL or LBP)

$C_P$  = 주형계수 (Prismatic coefficient)

# Hydrostatics Values

횡단면적, 배수 용적



✓ 횡 단면적

$$A = \int dA = \iint dy' dz'$$

✓ Displacement volume (배수 용적)

$$\begin{aligned} \nabla &= \int dV = \iiint dx' dy' dz' \\ &= \int \left( \iint dy' dz' \right) dx' \\ &\quad \Rightarrow A \end{aligned}$$

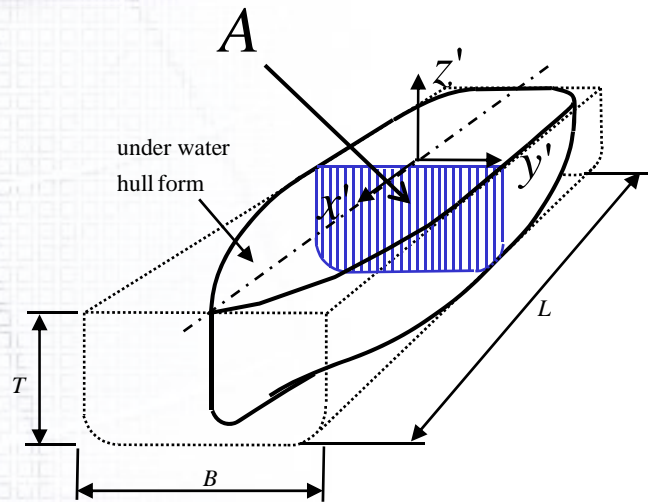
$$\therefore \nabla = \int A dx'$$

각 단면의 면적을 구한 후, 길이방향으로 적분하여 부피를 구할 수 있음



# Hydrostatics Values

## 길이(x)방향의 부피1차 모멘트, LCB 계산



✓ 횡 단면적

$$A = \int dA = \iint dy' dz'$$

✓ Displacement volume (배수 용적)

$$\nabla = \int A dx'$$

✓  $x'$ 방향(길이방향)의 부피1차 모멘트

$$\begin{aligned} M_{\nabla, x'} &= \int x' dV \\ &= \iiint x' dx' dy' dz' \\ &= \int \left( \iint x' dy' dz' \right) dx' \\ &\Rightarrow M_{A, x'} \end{aligned}$$

$M_{A, x'}$ 는 단면의  $x'$ 방향 면적 1차 모멘트임

$$\therefore M_{\nabla, x'} = \int M_{A, x'} dx'$$

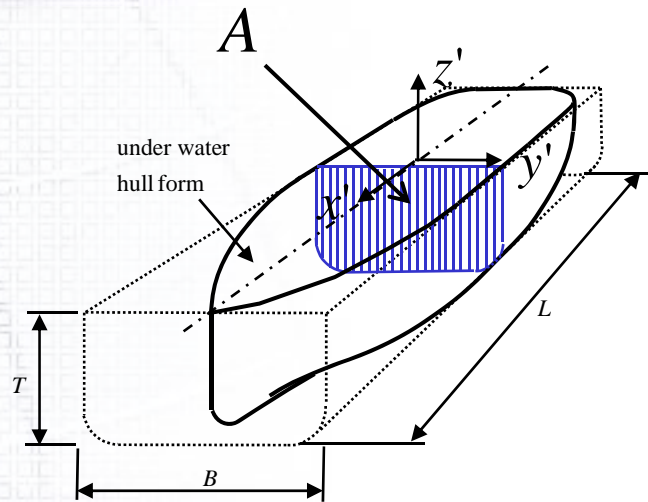
각 단면의  $x'$ 방향 면적 1차 모멘트를 구한 후, 길이 방향으로 적분하여, 길이방향의 부피 1차 모멘트를 구할 수 있음

✓ Longitudinal Center of Buoyancy (LCB; 길이방향 부력중심)

$$LCB = \frac{M_{\nabla, x'}}{\nabla}$$

# Hydrostatics Values

## 높이(z)방향의 부피1차 모멘트, VCB 계산



✓ 횡 단면적

$$A = \int dA = \iint dy' dz'$$

✓ Displacement volume (배수 용적)

$$\nabla = \int A dx'$$

oz' x' : Body fixed coordinate  
 oz x : Global coordinate

✓ z'방향(높이방향)의 부피1차 모멘트

$$\begin{aligned} M_{\nabla, z'} &= \int z' dV \\ &= \iiint z' dx' dy' dz' \\ &= \int \left( \iint z' dy' dz' \right) dx' \\ &\Rightarrow M_{A, z'} \end{aligned}$$

$M_{A, z'}$  는 단면의 z'방향 면적 1차 모멘트임

$$\therefore M_{\nabla, z'} = \int M_{A, z'} dx'$$

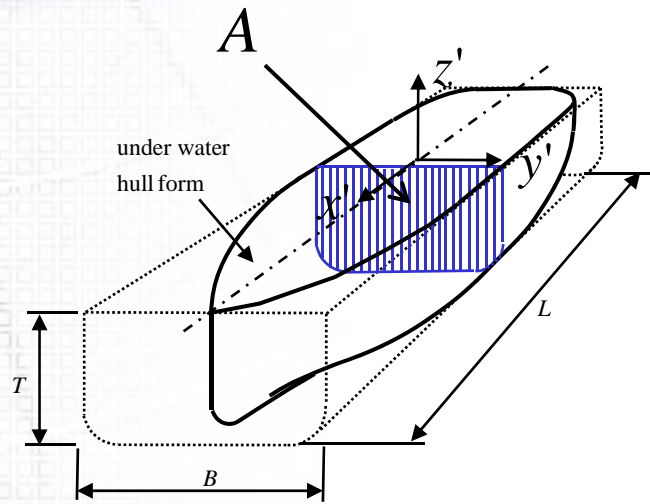
각 단면의 z'방향 면적 1차 모멘트를 구한 후, 길이 방향으로 적분하여, 길이방향의 부피 1차 모멘트를 구할 수 있음

✓ Vertical Center of Buoyancy (VCB; 높이방향 부력중심)

$$VCB = \frac{M_{\nabla, z'}}{\nabla}$$

# Hydrostatics Values

## 폭(y')방향의 부피1차 모멘트, TCB 계산



✓ 횡 단면적

$$A = \int dA = \iint dy' dz'$$

✓ Displacement volume (배수 용적)

$$\nabla = \int A dx'$$

✓ y'방향(폭방향)의 부피1차 모멘트

$$\begin{aligned} M_{\nabla, y'} &= \int y' dV \\ &= \iiint y' dx' dy' dz' \\ &= \int \left( \iint y' dy' dz' \right) dx' \\ &\Rightarrow M_{A, y'} \end{aligned}$$

$M_{A, y'}$  는 단면의 y'방향 면적 1차 모멘트임

$$\therefore M_{\nabla, y'} = \int M_{A, y'} dx'$$

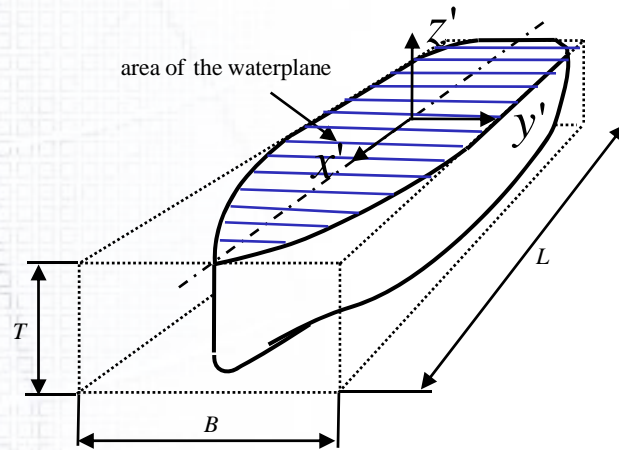
각 단면의 y'방향 면적 1차 모멘트를 구한 후, 길이 방향으로 적분하여, 길이방향의 부피 1차 모멘트를 구할 수 있음

✓ Transverse Center of Buoyancy (TCB; 높이방향 부력중심)

$$TCB = \frac{M_{\nabla, y'}}{\nabla}$$

# Hydrostatics Values

-수선면적, TPC 계산



✓ Waterplane Area(수선면적)

$$\begin{aligned} A_{WP} &= \int dA \\ &= \iint dx' dy' \\ &= 2 \cdot \int y' dx' \end{aligned}$$

✓ Tones per 1cm Immersion  
(TPC, 1cm **침하 톤수**)

$$TPC = \rho_{sw} \cdot A_{WP} \cdot \frac{1}{100}$$

$\rho_{sw}$  : density of sea water

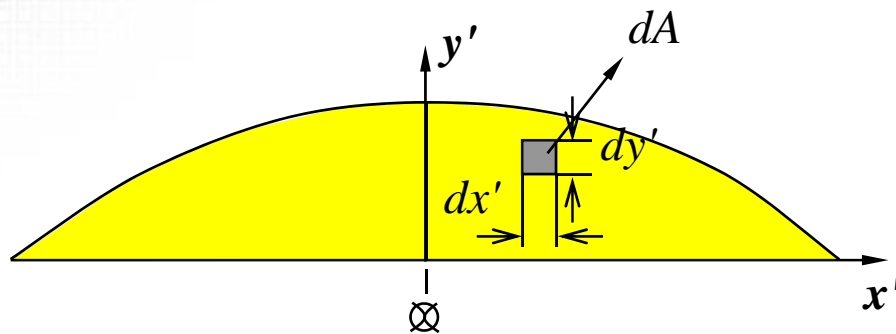
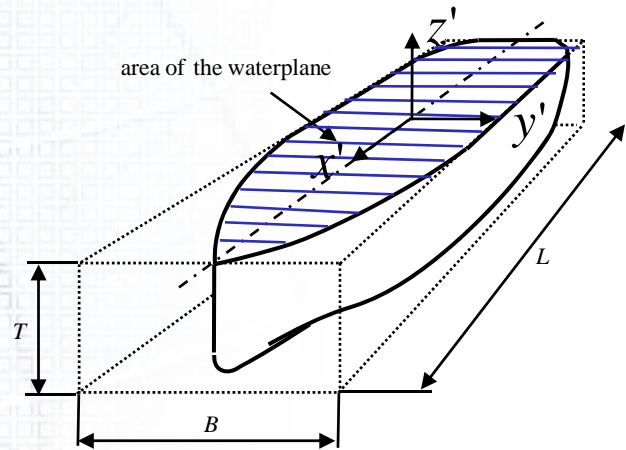
$oz'x'$  : Body fixed coordinate

$ozx$  : Global coordinate

2008\_Hydrostatics values

# Hydrostatics Values

## LCF 계산



✓ 수선면적

$$A_{WP} = \int dA = 2 \cdot \int_0^L y' dx'$$

✓ 수선면의 길이방향 1차 모멘트

$$\begin{aligned} L_{WP} &= \int x' dA \\ &= \iint x' dx' dy' \end{aligned}$$

✓ Longitudinal Center of Floatation (LCF; 부면심)

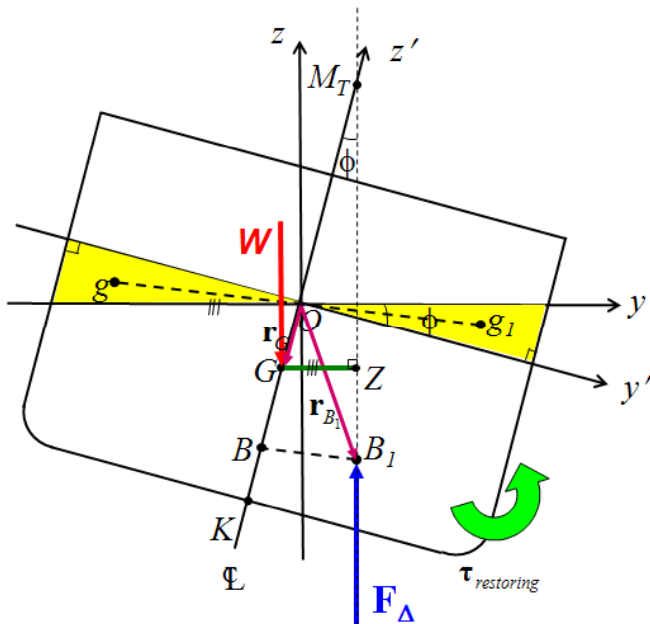
$$LCF = \frac{L_{WP}}{A_{WP}}$$

$y'$ : 각 station에서의 반폭

$\rho_{sw}$ : 해수의 밀도(1.025[ton/m<sup>3</sup>])

# Hydrostatics Values

## BM<sub>T</sub> 계산



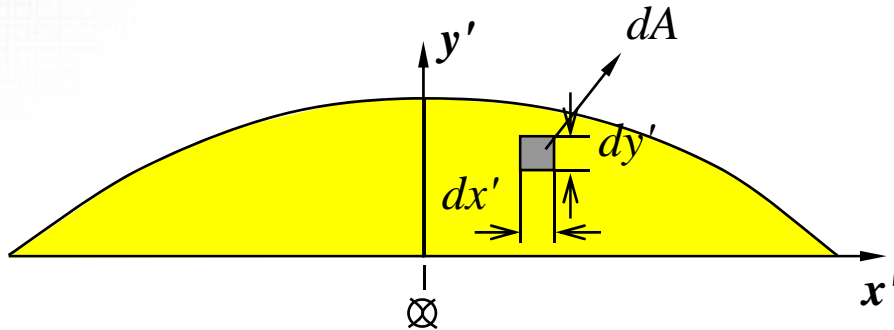
Z: B<sub>1</sub>을 통한 부력작용선과 G를 지나고 y축과 평행한 선이 만나는 점

$$\text{횡 복원력} = \Delta \cdot \overline{GZ} \approx \Delta \cdot \overline{GM}_T \cdot \sin \phi$$

$$\overline{GM}_T = \overline{KB} + \overline{BM}_T - \overline{KG}$$

$$\overline{BM}_T = \frac{I_T}{\nabla}$$

- $\overline{KB}$  : 부력의 높이 방향 중심
- $\overline{BM}_T$  : 횡 메타센터 반지름  
(Transverse Metacenter Radius)
- $\overline{KG}$  : 높이 방향의 무게 중심



$$I_T = \int y'^2 dA$$

$I_T$  : x'축에 대한 폭 방향 면적 2차 모멘트

$$= \iint y'^2 dx' dy'$$

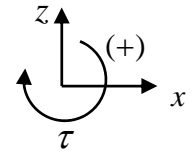
$$= 2 \cdot \int \frac{y'^3}{3} dx'$$

$oz'x'$  : Body fixed coordinate  
 $ozx$  : Global coordinate

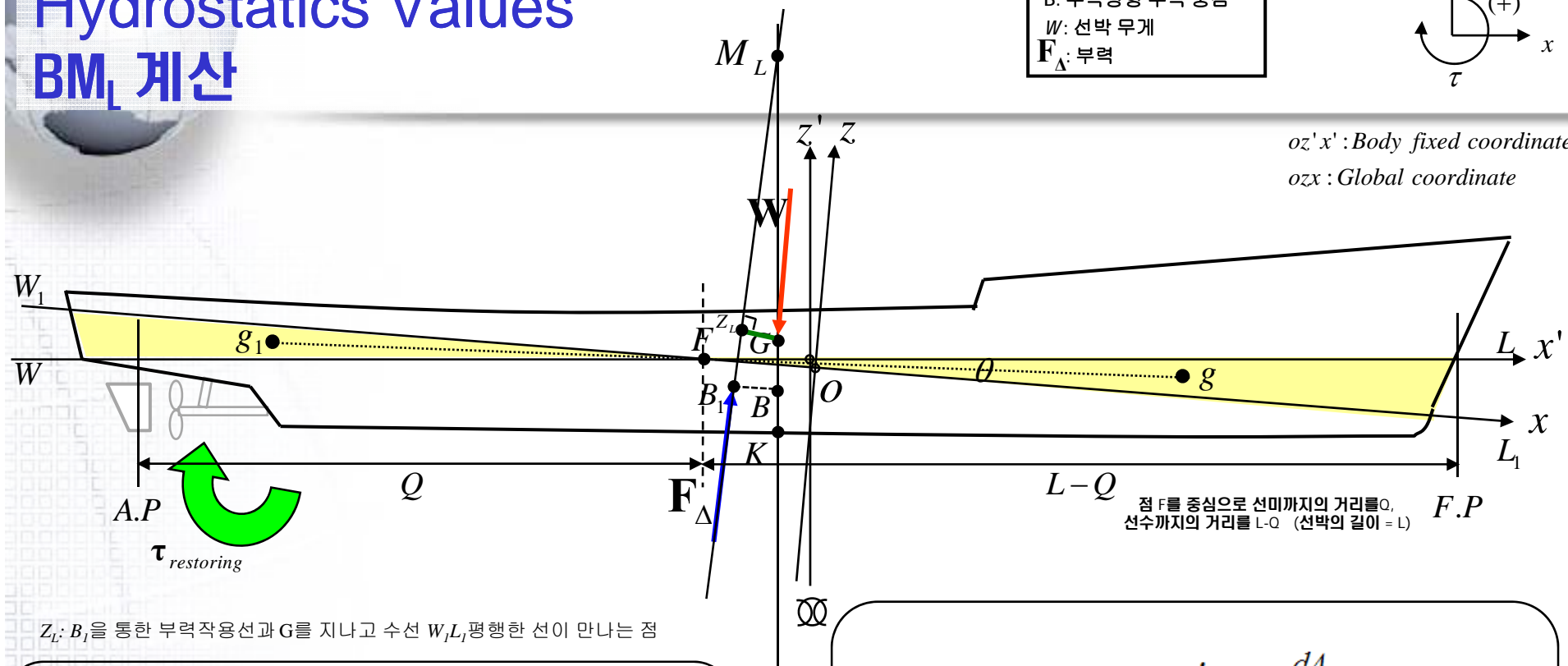
# Hydrostatics Values

## BM<sub>L</sub> 계산

G: 수직방향 무게중심  
 B: 수직방향 부력 중심  
 W: 선박 무게  
 F<sub>Δ</sub>: 부력



oz' x' : Body fixed coordinate  
 ozx : Global coordinate



점 F를 중심으로 선미까지의 거리를 O, 선수까지의 거리를 L-Q (선박의 길이 = L)

Z<sub>L</sub>: B<sub>1</sub>을 통한 부력작용선과 G를 지나고 수선 W<sub>1</sub>L<sub>1</sub>평행한 선이 만나는 점

**종 복원력 =  $\Delta \cdot \overline{GZ}_L = \Delta \cdot \overline{GM}_L \cdot \sin \theta$**

$\overline{GM}_L = \overline{KB} + \overline{BM}_L - \overline{KG}$

$$\overline{BM}_L = \frac{I_L}{\nabla}$$

$\overline{GM}_L$  : 종 메타센타 높이(Longitudinal Metacentric Height)  
 $\overline{KB}$  : 부력의 높이 방향 중심  
 $\overline{BM}_L$  : 종 메타센타 반지름(Longitudinal Metacentric Radius)  
 $\overline{KG}$  : 배의 높이방향의 무게중심 (VCG: Vertical Center of Gravity)

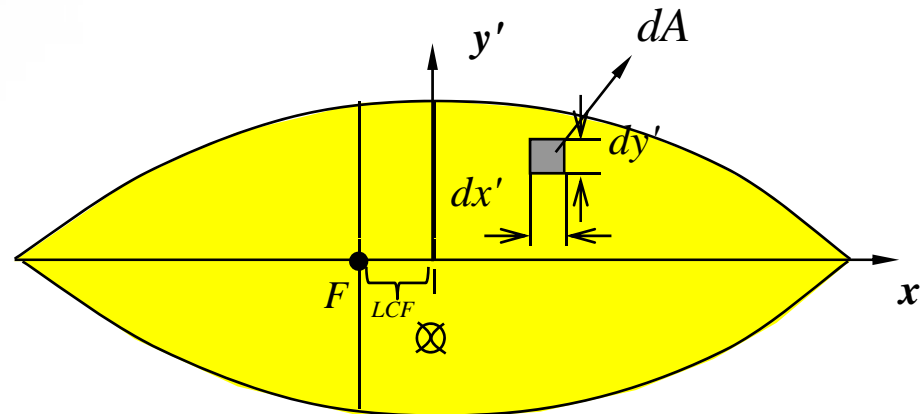
$I_L$  : LCF대한 길이방향 면적 2차 모멘트

Given: 원점을 지나는 축에 대한 수선면의 길이방향 면적 2차 모멘트 ( $I_{L, \text{midship}}$ )  
 Find: LCF에 대한 수선면의 길이방향 면적 2차 모멘트( $I_L$ ) 계산

$$I_{L_{\text{midship}}} = I_L + A_{WP} \cdot (LCF)^2$$

$$I_L = I_{L_{\text{midship}}} - A_{WP} \cdot (LCF)^2$$

평행축 정리에 의한 면적 2차 모멘트 변화량



$A_{WP}$  : Water Plane Area

LCF : Longitudinal Center of Floatation  
 2008\_Hydrostatics values



# Hydrostatics Values

## -트림(Trim), MTC (Moment to change Trim 1 Cm)

- Trim :  $d_a - d_f$  (양수이면 선미트림, 음수이면 선수 트림)
- MTC : moment to change trim one centimeter over the LBP (1cm trim이 생기는데 필요한 모멘트)

$$\text{Trim} \times \text{MTC} \times 100 = \Delta \times \text{Trim Lever}$$

Trim을 발생시키는  
총 경사 모멘트

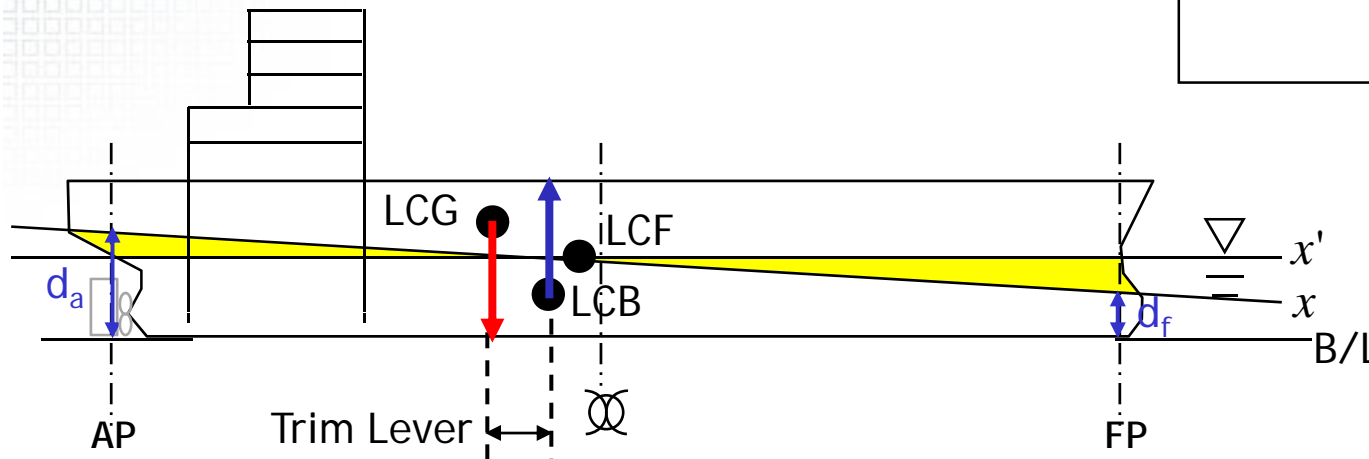
부력 중심과 무게 중심의  
위치 차이 때문에 생기는  
모멘트



$$\text{Trim Lever} = \text{LCB} - \text{LCG}$$

$$\text{Trim}[m] = \frac{\Delta \times \text{Trim Lever}}{\text{MTC} \times 100}$$

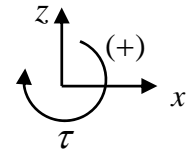
$$\text{MTC} = \frac{\Delta \times \overline{GM}_L}{100 \times \text{LBP}}$$



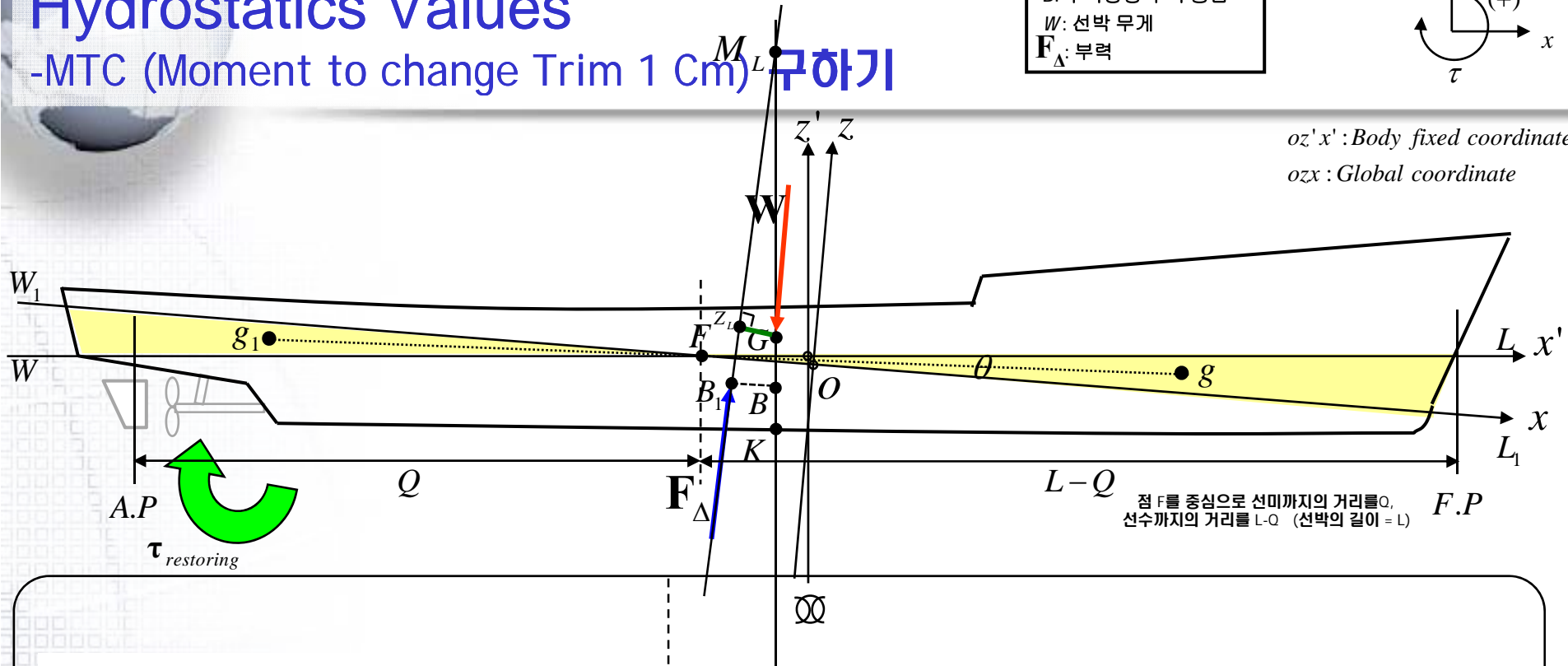
# Hydrostatics Values

-MTC (Moment to change Trim 1 Cm) 구하기

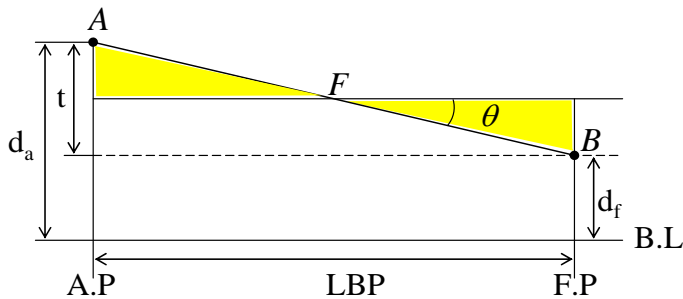
- G: 수직방향 무게중심
- B: 수직방향 부력 중심
- W: 선박 무게
- F<sub>Δ</sub>: 부력



oz'x' : Body fixed coordinate  
 ozx : Global coordinate



점 F를 중심으로 선미까지의 거리를 Q,  
 선수까지의 거리를 L-Q (선박의 길이 = L) F.P



$$\sin \theta = \frac{t}{AB}$$

만일 종 경사각  $\theta$ 가 작다고 하면  $\sin \theta \approx \tan \theta = \frac{t}{LBP}$

종 경사 모멘트 = 종 복원 모멘트

$$= \Delta \cdot \overline{GZ}_L = \Delta \cdot \overline{GM}_L \cdot \sin \theta$$

따라서 1cm 트림을 일으키는 모멘트 MTC는

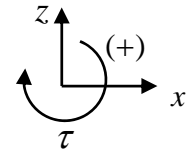
$$MTC = \Delta \cdot \overline{GM}_L \cdot \frac{1}{LBP \cdot 100}$$

M<sub>L</sub>: 부력 작용선과 K를 지나면서 z'과 평행한 선이 만나는 점 ; 종메타센터(Longitudinal metacenter)

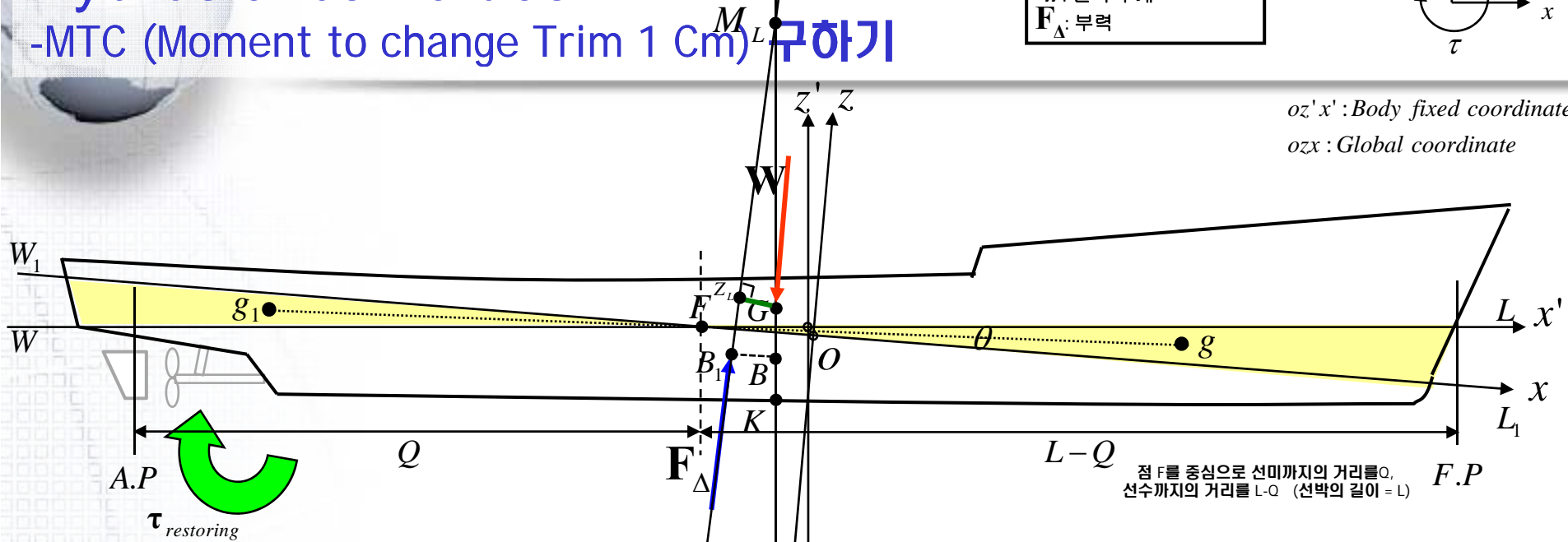
# Hydrostatics Values

-MTC (Moment to change Trim 1 Cm) 구하기

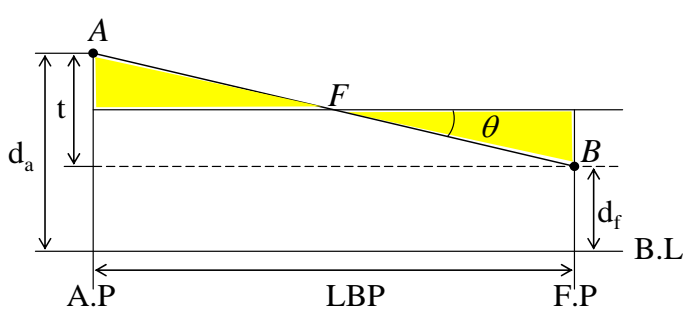
- G: 수직방향 무게중심
- B: 수직방향 부력 중심
- W: 선박 무게
- F<sub>Δ</sub>: 부력



oz' x' : Body fixed coordinate  
 ozx : Global coordinate



점 F를 중심으로 선미까지의 거리를 Q,  
 선수까지의 거리를 L-Q (선박의 길이 = L) F.P



$$\sin \theta = \frac{t}{AB}$$

$$MTC = \Delta \cdot \overline{GM}_L \cdot \frac{1}{LBP \cdot 100}$$

$\overline{GM}_L = \overline{KB} + \overline{BM}_L - \overline{KG}$  에서

$\overline{BM}_L$  에 비해  $\overline{KB}, \overline{KG}$  는 작고 서로 상쇄된다고

하면  $\overline{GM}_L \approx \overline{BM}_L$

$$\therefore MTC = \Delta \cdot \overline{BM}_L \cdot \frac{1}{LBP \cdot 100}$$

M<sub>L</sub>: 부력 작용선과 K를 지나면서 z'과 평행한 선이 만나는 점 ; 종메타센터(Longitudinal metacenter)