Chap 3. KINEMATICS OF FLUID MOTION

3.1 Steady and Unsteady Flow, Streamlines, and Streamtubes

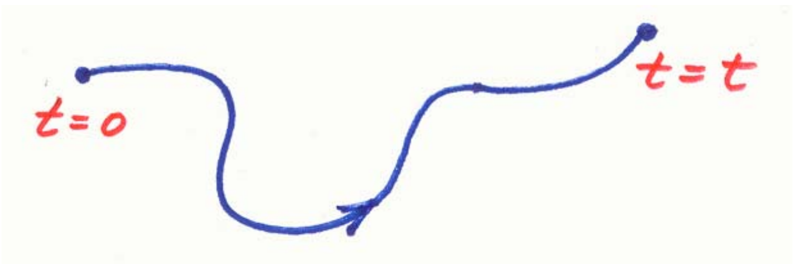
- Description of fluid motion

  - Eulerian view: 유체 내의 각 지점에서 유체 운동의 시간적인 변화를 나타냄

$$\vec{u} = \vec{u}(\underbrace{x, y, z}_{\text{fixed}}, t);\ \vec{a} = \vec{a}(\underbrace{x, y, z}_{\text{fixed}}, t);\ p = p(\underbrace{x, y, z}_{\text{fixed}}, t)$$

예: 고정된 지점에서 유속계를 이용한 유속 관측

  - Lagrangian view: 유체 내의 입자 각각의 움직임으로 유체 운동을 정의



예: 수면에 부체를 띄워 놓고 그 움직임을 관측하여 흐름의 양상(유속 및 유향)을 파악

- Steady and unsteady flow

  - Steady flow (定常流):

    Eulerian 관점에서 보았을 때 유체 내의 각 지점에서 흐름의 특성이 시간에 따라 변하지 않는 흐름.

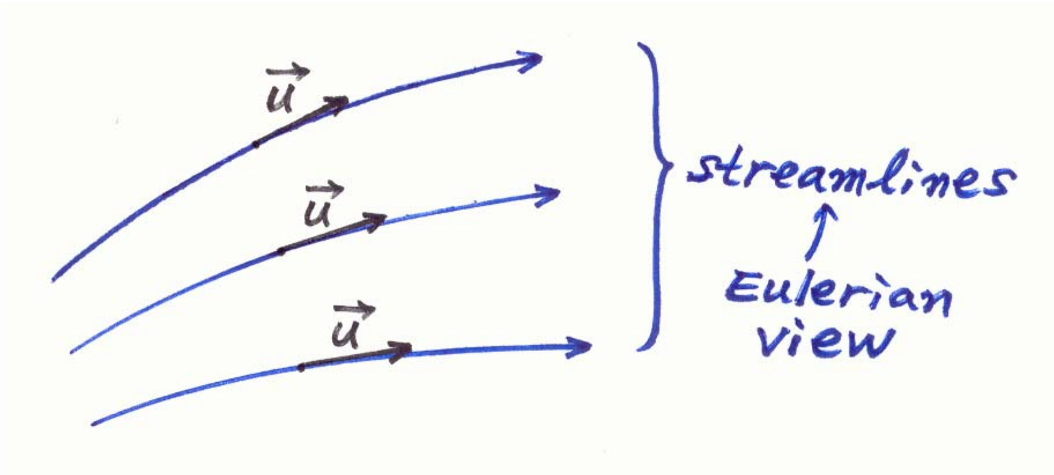
    그러나 각 지점별로는 흐름의 특성이 다를 수 있으므로 가속도는 존재할 수 있음.

  - Unsteady flow (非定常流):

    Eulerian 관점에서 보았을 때 유체 내의 각 지점에서 흐름의 특성이 시간에 따라 변하는 흐름.

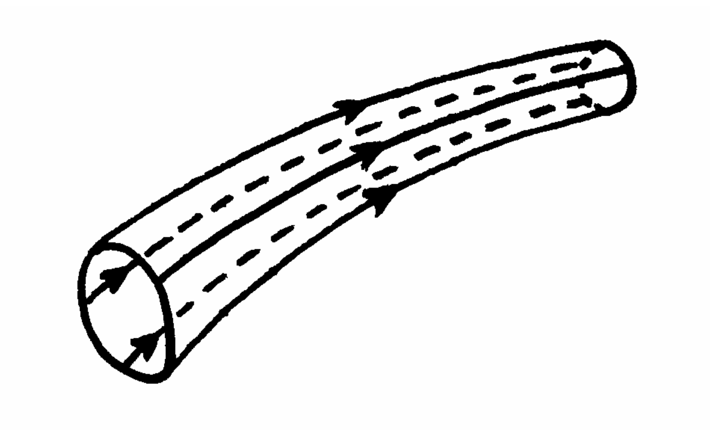
- Streamline (流線)

어느 선을 따라 각 점에서 유속 벡터가 그 선에 접선이 되도록 구성한 선



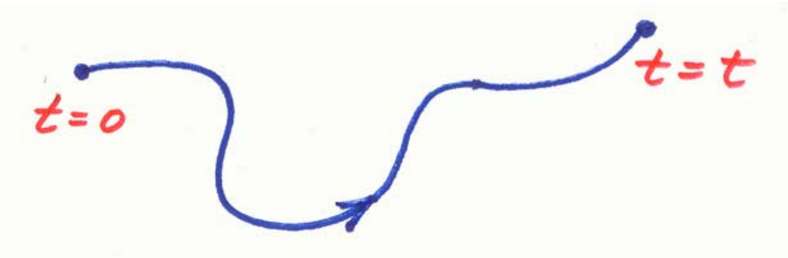
- Streamtube (流管)

여러 개의 유선으로 형성된 관



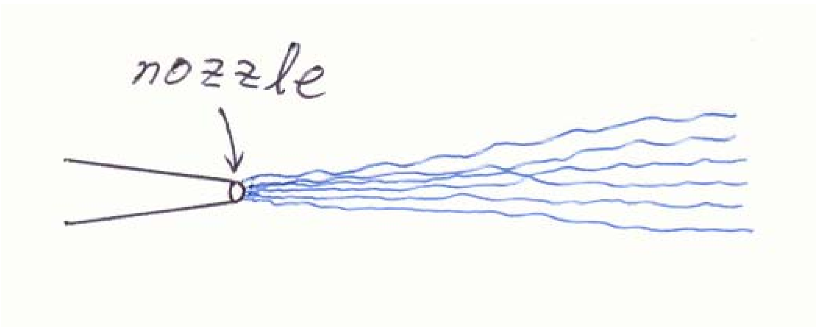
- Path line

한 유체 입자의 위치를 시간의 함수로 나타낸 선, 즉 유체 입자의 궤적



- Streak line

같은 점을 통과한 여러 유체 입자들의 한 순간의 위치를 나타내는 그림 (예: 노즐에서 배출된 물감 또는 연기의 확산 현상을 사진으로 찍은 것)



3.2 One, Two, Three-Dimensional Flows

(Read text)

3.3 Velocity and Acceleration

- Velocity: $\vec{u} = \underbrace{u\vec{i}}_{x-\text{comp.}} + \underbrace{v\vec{j}}_{y} + \underbrace{w\vec{k}}_{z}$

- Acceleration: $\vec{a} = \underbrace{a_x}_{=\frac{du}{dt}}\vec{i} + \underbrace{a_y}_{=\frac{dv}{dt}}\vec{j} + \underbrace{a_z}_{=\frac{dw}{dt}}\vec{k}$

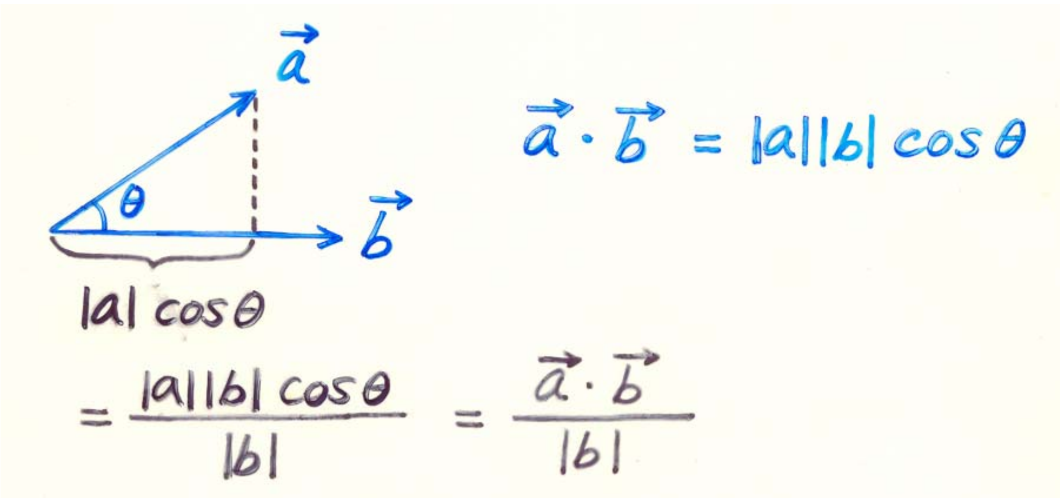
$$a_x = \underbrace{\frac{du}{dt}}_{\substack{=\text{total}\\ \text{acceleration}\\ \text{(following}\\ \text{fluid particle)}}} = \underbrace{\frac{\partial u}{\partial t}}_{\substack{=\text{local}\\ \text{accel.}}} + \underbrace{u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} + w\frac{\partial u}{\partial z}}_{\substack{=\text{convective}\\ \text{accel.}}}$$

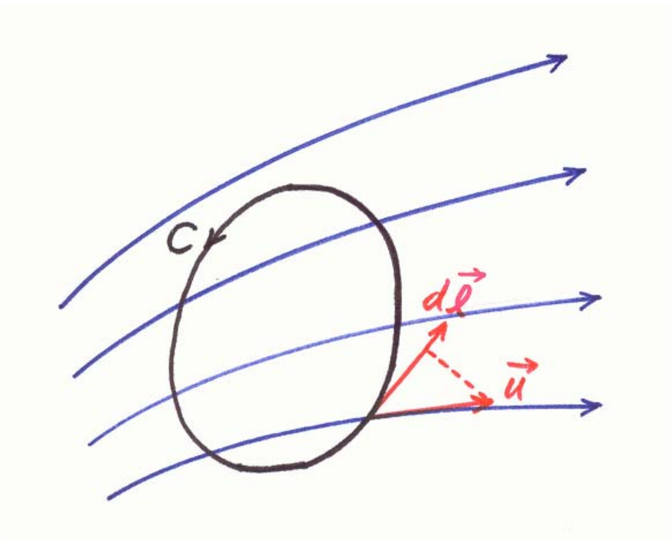
3.4 Circulation, Vorticity, and Rotation

모두 유체의 회전성을 나타내는 용어임

- Circulation(Γ): line integral of tangential velocity around a closed curve fixed in a flow

Projection of $\vec{a}$ onto $\vec{b}$ $= \dfrac{\vec{a}\cdot\vec{b}}{|b|}$





$$\Gamma = \int_C \frac{\vec{u}\cdot d\vec{l}}{dl}\,dl$$
$$= \int_C \vec{u}\cdot d\vec{l}$$

- Vorticity(ξ): Circulation per unit area

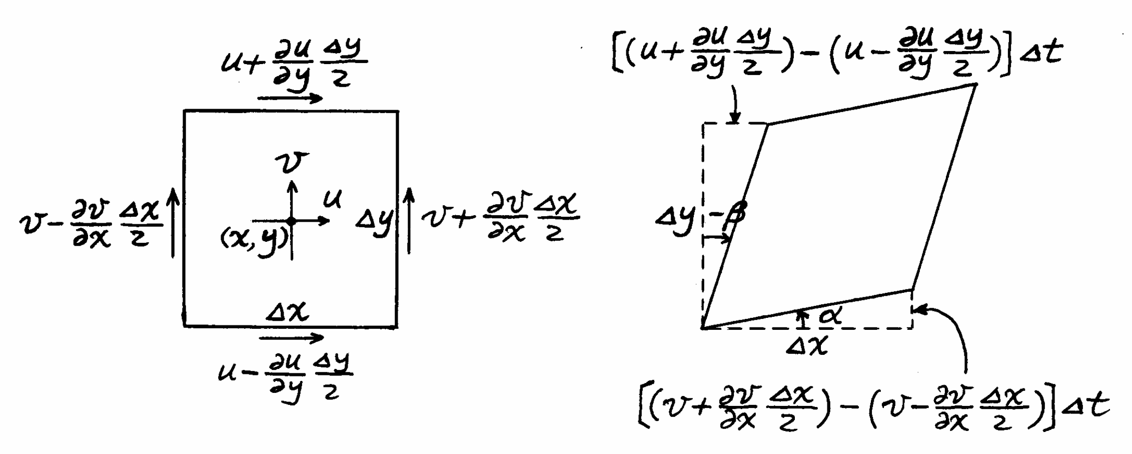
  = ($d\Gamma$ for differential size of element of $dx \times dy$)/$dxdy$

  (Read text)

$\xi = \xi(x, y, z, t)$

In 2-D flow, $\xi = \dfrac{\partial v}{\partial x} - \dfrac{\partial u}{\partial y}$

• Rotation(ω): Angular velocity of a fluid particle



at time t at time $t+\Delta t$

$$\alpha \approx \tan\alpha = \frac{\left[\left(v+\frac{\partial v}{\partial x}\frac{\Delta x}{2}\right)-\left(v-\frac{\partial v}{\partial x}\frac{\Delta x}{2}\right)\right]\Delta t}{\Delta x} = \frac{\partial v}{\partial x}\Delta t$$

$$\therefore \quad \frac{\partial \alpha}{\partial t} = \frac{\partial v}{\partial x}$$ ← angular velocity

Likewise, $\dfrac{\partial \beta}{\partial t} = -\dfrac{\partial u}{\partial y}$

Average angular velocity:

$$\omega = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial \alpha}{\partial t}+\frac{\partial \beta}{\partial t}\right) = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial v}{\partial x}-\frac{\partial u}{\partial y}\right)$$

$$\therefore \quad \xi = 2\omega$$

Vorticity　　Rotation = Average angular velocity

If $\xi \neq 0$, rotational flow

If $\xi = 0$, irrotational flow (비회전성 흐름)

→ Velocity potential exists.

→ Potential flow = irrotational flow