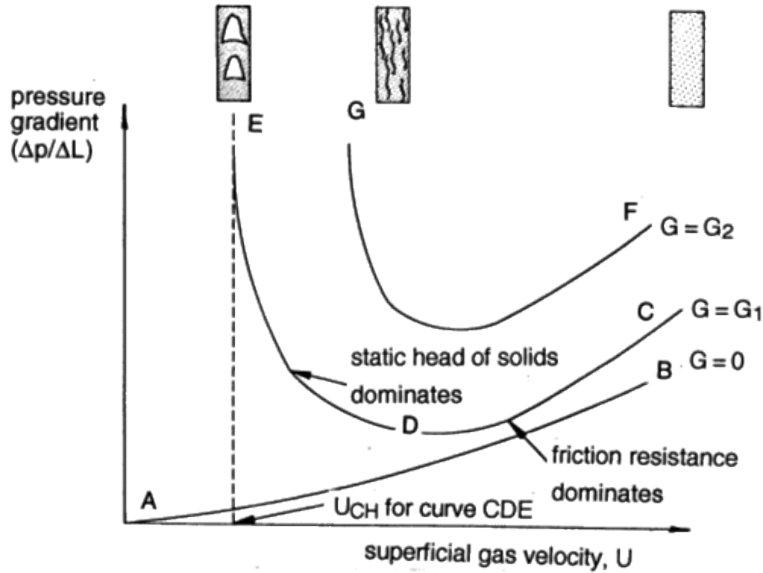


저밀도상 뉴메틱 콘베이어 설계의 기초이론

(*** 모든 공식은 SI Unit으로 작성된 것 임)

1. Choking Velocity : 수직관로의 폐색을 일으키는 공기속도



$$\frac{U_{ch} - U_t}{\epsilon_{ch}} = \frac{G}{\rho_p(1 - \epsilon_{ch})} \quad \text{--- Eq.(1)}$$

$$\rho_f^{0.77} = \frac{2250 \times D (\epsilon_{ch}^{-4.7} - 1)}{\left(\frac{U_{ch} - U_t}{\epsilon_{ch}} \right)^2} \quad \text{--- Eq.(2)}$$

ϵ_{ch} : 초킹속도 U_{ch} 에서 관로내 공극률

ρ_p : 입자의 밀도

ρ_f : 기체의 밀도

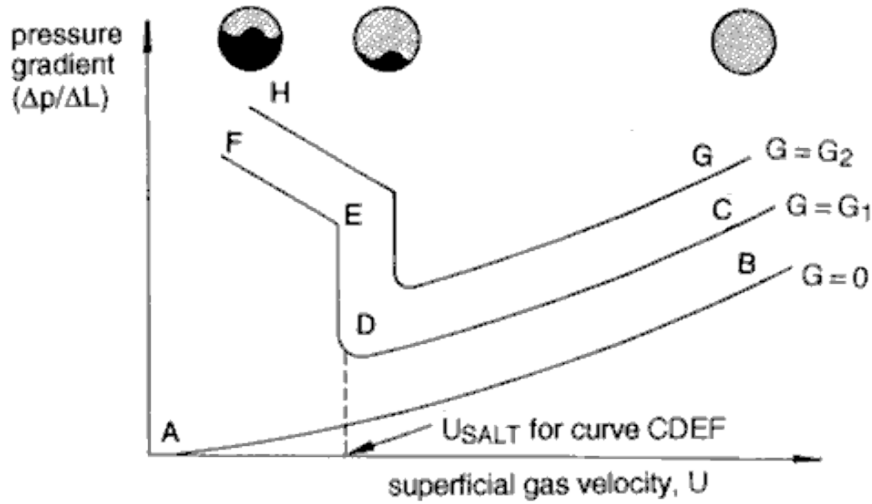
G : 입자의 질량유동(= M_p/A)

U_t : 기체중 입자의 자유침강속도

Eq(1)은 관로가 폐색될 때 분체입자의 속도를 나타내고 있으며 입자의 슬립속도 U_{slip} 이 자유침강속도가 같다는 가정하에서 이뤄진 관계식이다.

Eq(1), Eq(2)는 ϵ_{ch} 와 U_t 의 임의 값들에 대해서 시행착오적으로 동시에 풀어야 만 한다.

2. Saltation Velocity : 수평관로에서 입자가 침강하는 공기속도



Rizk 관계식 : 입자의 개략적인 샐테이션 속도를 구할 수 있는 半理論式.

$$\phi = \frac{m_p}{\rho_a u_{salt} A} = \left\{ \frac{1}{10^{(1440d_p + 1.96)}} \right\} \times Fr_{salt}^{(1100d_p + 2.5)} \quad \text{--- Eq.(3)}$$

$$u_{Salt} = \left[\frac{4m_p \times 10^\alpha \times g^{\beta/2} \times D^{\left(\frac{\beta-2}{2}\right)}}{\pi\rho_a} \right]^{\frac{1}{\beta+1}} \quad \text{--- Eq.(4)}$$

$\phi = m_p/m_a$: 상밀도(Phase Density= 재료질량유동율/공기질량유동율)

d_p : 입자직경(mm), ρ_a : 공기밀도, m_p : 입자들의 질량유동율,

g : 중력가속도, D : 관로의 내경

$$Fr_{salt} = \frac{u_g}{\sqrt{gD}} \quad : \text{Froude Number at Saltation}$$

$$\alpha = 1440d_p + 1.96, \quad \beta = 1100d_p + 2.5$$

3. 기체와 입자의 속도

관로속을 유동하는 기체와 입자간의 상대속도에는 서로 미끄러지는 슬립속도가 포함되어 있다.

가상속도(Superficial Velocity) : 주어진 조건에 대해 임의 설정하는 기체와 입자의 속도

$$\text{기체의 가상속도: } u_{as} = \frac{\text{기체의 체적유동율}}{\text{관로의 내단면적}} = \frac{Q_a}{A} \quad \text{--- Eq.(5)}$$

$$\text{입자의가상속도: } u_{ps} = \frac{\text{입자들의 체적유동율}}{\text{관로의내단면적}} = \frac{Q_p}{A} \quad \text{--- Eq.(6)}$$

관로 단면을 채우고 있는 입자와 공기 부분 중, 공기가 점유하고 있는 단면의 일부를 공극률(Voidage), ϵ 이라 하며, 관로 단면상에서 입자들이 유동할 수 있는 관로 단면적은 $(1 - \epsilon)$ 이 된다.

실제속도 : 공극률을 고려한 관로내에서의 입자와 기체의 속도

$$u_a = \frac{Q_a}{A \times \epsilon} = \frac{u_{as}}{\epsilon} \quad \text{--- Eq.(7)}$$

$$u_p = \frac{Q_p}{A \times (1 - \epsilon)} = \frac{u_{ps}}{1 - \epsilon} \quad \text{--- Eq.(8)}$$

상대속도 : 기체와 입자의 실제속도들 간의 차이, 슬립속도로 간주하기도 한다.

$$u_{rel} = u_a - u_p \quad \text{--- Eq.(9)}$$

(저밀도상 수직 관로상에서는 슬립속도가 입자의 말단침강속도(Terminal Velocity)와 같은 것으로 가정되곤 한다.)

※ Fluidizing bed 혹은 Dilute Phase Pneumatic Conveyor를 취급하는 과정에서는 대체로 기체 및 입자의 가상속도가 사용되고 있다.

4. 연속성

입자와 공기는 이송 관로를 따라 m_p 와 m_a 의 질량 유동율로 공급된다는 연속성을 다음과 같은 각각의 연속방정식으로 표시될 수 있다.

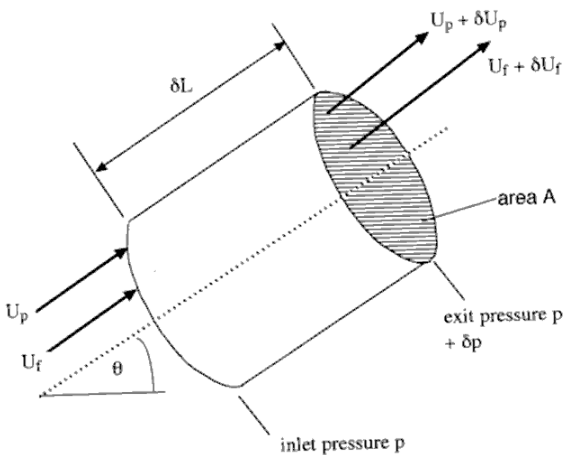
$$m_p = Au_p(1-\varepsilon)\rho_p, \quad m_a = Au_a\varepsilon\rho_a \quad \text{--- Eq.(10)}$$

\therefore Phase Density(= solids loading ratio): ϕ

$$\phi = \frac{m_p}{m_a} = \frac{u_p(1-\varepsilon)\rho_p}{u_a\varepsilon\rho_a} \quad \text{--- Eq.(11)}$$

5. 압력강하

관로 전체에서 발생하는 압력강하는 아래 그림과 같은 관로 단면상에서와 같은 운동방정식으로 표현될 수 있다.



단면적 A 와 길이 δL , 각도 θ 로 수평에 경사져 있는 관로에서 공극률 ε 로 재료를 부유 이송하고 있는 것으로 고려한 운동평형방정식은 다음과 같다.

관로 내용물에 작용하는 정격 힘

||

내용물 운동량의 증가율

압력 - 기체의 관로 마찰력 - 입자의 관로 마찰력 - 중력 = 기체와 입자들의 증가된 운동량

F_{aw}, F_{pw} : 관로 내용적당 기체와 입자들의 각각의 마찰력

기체의 밀도와 공극률 ε 이 관로를 따라 일정하다고 가정하고 식을 재정렬하면

$$p_1 - p_2 = \underbrace{\frac{1}{2}\varepsilon\rho_a u_a^2}_{(1)} + \underbrace{\frac{1}{2}(1-\varepsilon)\rho_p u_p^2}_{(2)} + \underbrace{F_{aw}L}_{(3)} + \underbrace{F_{pw}L}_{(4)} + \underbrace{\rho_p L(1-\varepsilon)g \sin \theta}_{(5)} + \underbrace{\rho_a L\varepsilon g \sin \theta}_{(6)}$$