



Sedimentation

Settling and Centrifugation

INTRODUCTION



- **FILTRATION과 CENTRIFUGATION의 차이**
- **침전되는 PARTICLE에 작용하는 힘과 속도 식**
- **CENTRIFUGATION의 종류와 응용식**
 - A)TUBULAR BOWL CENTRIFUGATION
 - B)DISC TYPE CENTRIFUGATION
- **CENTRIFUGAL FILTRATION**
- **SCALE-UP된 CENTRIFUGATION**
- **CONCLUSIONS**

CENTRIFUGATION과 FILTRATION



CENTRIFUGATION

Solid와 주위의 유체간의 밀도차이와 원심력에 의해 가속화됨

고체 상태가 **Paste**의 형태

작은 **particle**분리에 더 효율적이거나 더 비싼 비용

FILTRATION

막의 **pore** 크기, 중력과 압력차이로 가속화됨

고체 상태가 **dry cake**형태

희석된 크고 딱딱한 고체 분리에 용이

SETTLING OF SOLIDS

- Solid particle이 침전될 때 particle과 유체의 밀도 차이에 따른 부력의 힘과 움직임에 따른 drag force에 영향을 받는다. 부력과 drag force가 같을 때 일정한 속도를 갖게 된다.

$$F_B = \left[\frac{\pi d^3}{6} (\rho_s - \rho) \right] a \quad (1)$$

여기서 a 는 가속화 시키는 몇 가지 힘으로 대개 중력을 이용

$$F_D = 3\pi D \mu v \quad (2)$$

단, $N_{Re} = \frac{dv\rho}{\mu} < 1$ 일 때

Sedimentation velocity

$N_{Re} = \frac{d v \rho}{\mu} > 1$ 일 때, drag force는 다음과 같다.

$$F_D = f \left(\frac{1}{2} \rho v^2 \right) \left(\frac{\pi}{4} d^2 \right) \quad (3)$$

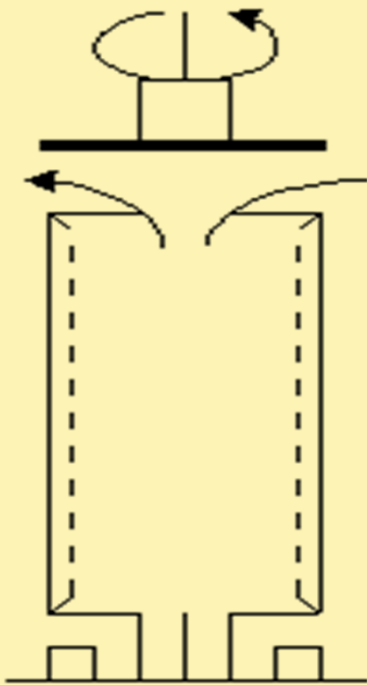
정상상태에서의 **terminal velocity** 는 **settling**에서 가속화시키는 힘이 중력일 때와 원심력일 때 각각 식 (4),(5)와 같다.

$$v_g = \frac{d^2}{18\mu} (\rho_s - \rho) g \quad (4)$$

$$v_\omega = \frac{d^2}{18\mu} (\rho_s - \rho) \omega^2 r \quad (5)$$

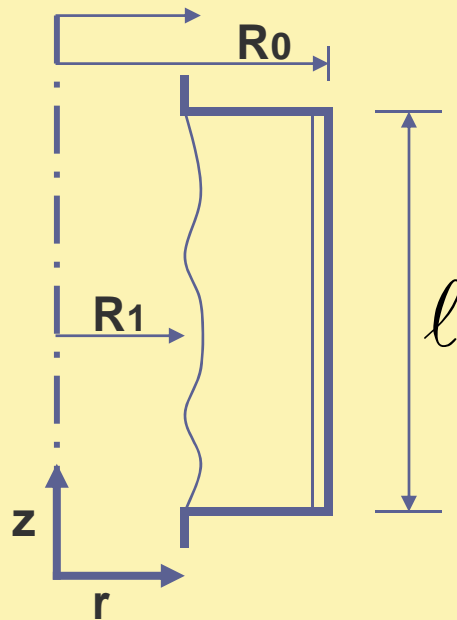
CENTRIFUGE의 종류

A. TUBULAR BOWL CENTRIFUGE



높은 원심력에 의해 분리되며 간단하고 다른 형태의 원심분리기보다 경제적이다. **Suspension**이 아래로부터 들어오고 위로 액상의 물질이 분리되며 이것은 **Solid**가 **Bowl**의 벽면에 남게 된다. 수시로 **Solid**를 제거하여야 하므로 연속작업에는 불리하며 큰 스케일의 응용이 불리하다.

Capacity Calculation



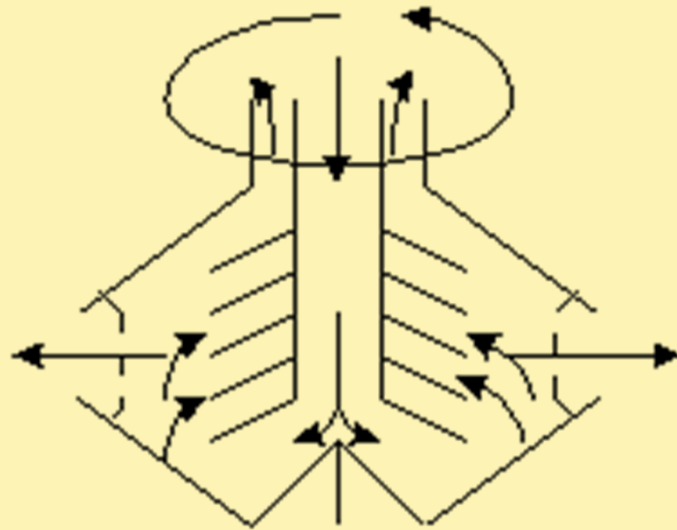
$$\frac{dz}{dt} = \frac{Q}{\pi (R_0^2 - R_1^2)}$$

$$\frac{dr}{dz} = \frac{d^2}{18\mu} (\rho_s - \rho) r \omega^2$$

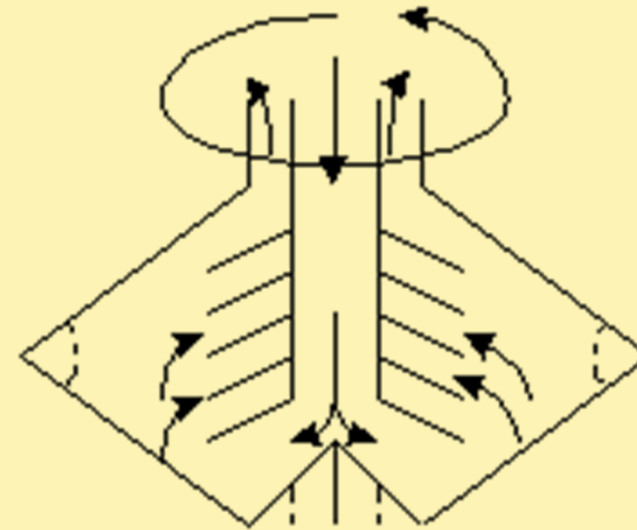
$$\frac{dr}{dz} = \frac{dr/dt}{dz/dt} = v_g \left(\frac{r\omega^2}{g} \right) \frac{\pi (R_0^2 - R_1^2)}{Q}$$

$$Q = \frac{\pi \ell (R_0^2 - R_1^2) v_g \omega^2}{g \ln (R_0/R_1)}$$

B. DISK CENTRIFUGE



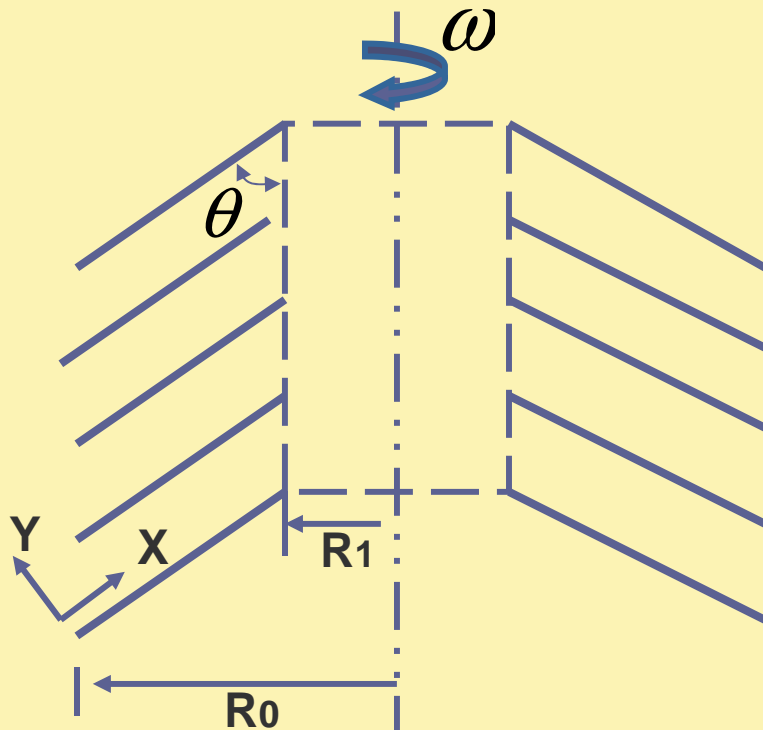
(a) Disk with a Nozzle



(b) Disk with intermittent discharge

생물분리공정에 가장 흔하게 이용되는 형태로 연속공정으로 이용할 수 있다. 위로 **Suspension**이 유입되고 관 주변의 **Slit**을 통해 액체가 분리된다. **Solid**는 공정 중간에 제거되는 형태(a)와 **Orifice**의 옆면을 통해 연속적으로 제거되는 형태(b)가 있다.

Capacity Calculation



$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= v_0 - v \omega \sin \theta \cong v_0 \\ &= \left[\frac{Q}{n(2\pi r \ell)} \right] f(y) \end{aligned}$$

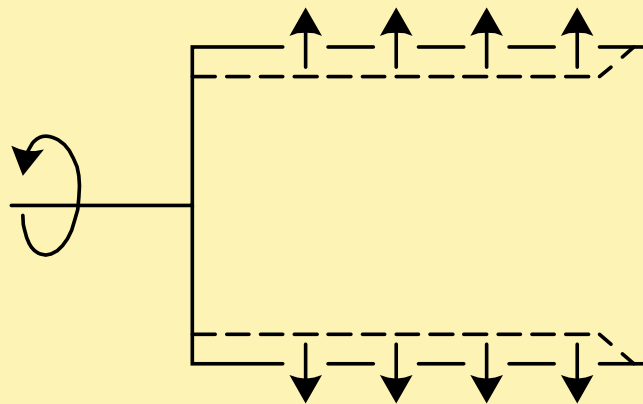
$$\frac{dy}{dt} = v \omega \cos \theta = v_0 \left(\frac{\omega^2 r}{g} \right) \cos \theta$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{dy / dt}{dx / dt} = \left[\frac{2\pi n \ell v_g \omega^2}{Q g f(y)} \right] r^2 \cos \theta$$

여기서 $r = R_0 - x \sin \theta$, $y = 0 \rightarrow y = \ell$
 $x = 0 \rightarrow x = (R_0 - R_1) \sin \theta$ 적분하면 다음과 같다.

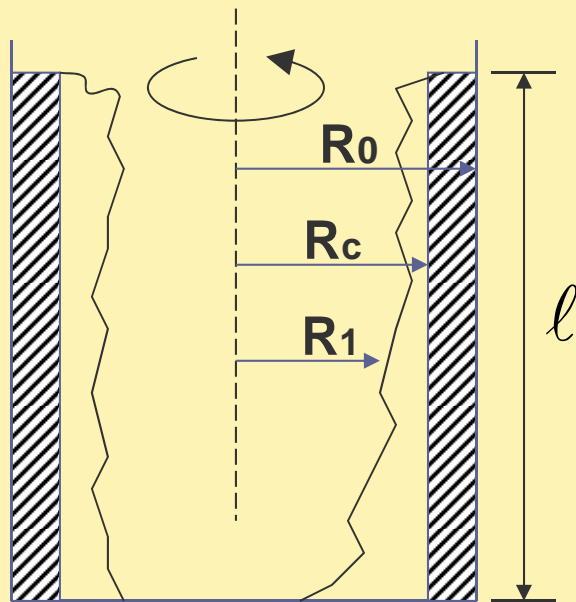
$$Q = v_g \left[\frac{2\pi n \omega^2}{3g} (R_0^3 - R_1^3) \cot \theta \right] = v_g [\pi]$$

C. BASKET TYPE CENTRIFUGE



Centrifuge와 **filter**의 조합형으로
구멍이 뚫린 **basket**을 돌려 분리한다.
Suspension은 축 방향으로 유입되고
Solid는 **Basket**벽에 축적되고 액상은
구멍이 뚫린 벽을 통해 분리된다.
이것은 **Solid**을 **washing**할 때 유용하다

CENTRIFUGAL FILTRATION



$$-\frac{dp}{dr} = (\mu \alpha \rho_0) v$$

$$(2\pi r l) v = Q$$

$$-\frac{dp}{dr} = \mu \alpha \rho_0 \left(\frac{Q}{2\pi r l} \right)$$

$$\Delta p = \frac{1}{2} \rho \omega^2 (R_0^2 - R_1^2)$$

$$Q = \frac{\pi \rho \omega^2 \ell (R_0^2 - R_1^2)}{\mu \alpha \rho_0 \ln [R_0 / R_c]}$$

$Q = \frac{dV}{dt}$ 을 이용하여 시간 t 와 의 관계를 유도하면 다음과 같다.

$$t = \left(\frac{\mu \alpha \rho_c^2}{2 \rho_0 \Delta p} \right) (R_0 - R_c)^2$$

SCAL-UP OF CENTRIFUGATION

산업적으로 큰 스케일의 원심분리기를 설계하고 구입함에 있어 여러 가지를 고려하여야 한다. 첫 번째 방법으로는 **Equivalent time, Gt**을 고려하는 방법과 두 번째는 Σ factor을 이용하여 정량화하는 방법이다 .

$$A. \quad G_t = \frac{\omega^2 R_0 t}{g}$$

$$B. \quad Q = v_g \Sigma$$

$$\Sigma = \left[\frac{2 \pi \ell R^2 \omega^2}{g} \right]$$

$$\Sigma = \left[\frac{2 \pi n \omega^2}{3 g} (R_0^3 - R_1^3) \cot \theta \right]$$

GENERALIZED CENTRIFUGATION CONDITIONS



SOLIDS	CENTRIFUGATION CONDITION G_t(10⁶sec)
Eucaryotic cells	0.3
Chloroplasts	
Eucaryotic cell debris	2
Cell nuclei	
Protein precipitates	9
Bacteria	18
Mitochondria	
Bacterial cell debris	54
Lysosomes	
Libosomes	1100
Polysomes	

BIOMASS CENTRIFUGATIONS



PRODUCT	MICROORGANISM		RELATIVE THROUGHPUT	TYPES OF SEPARATOR
	MICROORGANISM	SIZE (μm)		
Bakers' yeast	Saccharomyces	7-10	100	Nozzle
Brewer's yeast	Saccharomyces	5-8	70	Nozzle
Alcohol yeast	Saccharomyces	5-8	60	Solid ejecting
Single cell				
Protein	Candida	4-7	50	Nozzle, decanter
Citric acid	Mold	-	30	Solids ejecting Decanter
Antibiotics	Mold	-	20	Decanter
Antibiotics	Actinomyces	10-20	7	Solid ejecting
Enzyme	Bacillus	1-3	7	Nozzle
				Solid ejecting
Vaccine	Clostridia	1-3	5	Solid bowl Solid ejecting

CONCLUSIONS



- **CENTRIFUGATION**과 **FILTER**는 액체와 고체를 분리한다는 공통점을 갖고 있으나 전자가 더 비싼 분리 장비로 작은 **PARTICLE**의 분리에 더욱 용이하다.
- **TUBULAR BOWL** 형태는 **BACH**, 작은 스케일에서 사용하기 용이하며 **DISK TYPE**은 연속 공정 및 큰 스케일의 분리에 용이하다.
- **CENTRIFUGAL FILTRATION**은 **FILTRATION**에 원심력을 이용한 분리 방법이다.
- 여러 가지 효율식을 이용하여 원심 분리 효과를 판단하여 선택한다.