

## 원심분리기의 채널 설계(II) - 입자의 침강문제와 보울 길이

서용권<sup>#</sup>

### Channel Design of Decanter-Type Centrifuge (II) - Particles' Sediment and the Bowl Length

Yong Kweon Suh<sup>#</sup>

#### ABSTRACT

In this paper, based on the concept of solid particles' sediment problem the working formula determining the bowl length of a Decanter-type centrifuge were derived. Assuming that particles are uniformly distributed along the vertical line of the liquid inlet position, it was possible to derive a constant value  $k$  used for determining the bowl length. It was shown from the sample calculations that the bowl length should be increased as the particle size to be removed from the liquid is decreased. The length also should be increased for the same particle size as the bowl diameter is decreased. To help the engineers choose a reasonable bowl diameter, the statistical relationship between the bowl diameter and the capacity of the international products is obtained and presented.

**Key Words** : Decanter, centrifuge(원심분리기), particle sediment(입자 침강), bowl length(보울 길이)

#### 1. 서론

제1보에서는 원심분리기의 채널 설계에 관한 것으로서, 유체유동의 난류작용에 따른 슬러지 입자의 부유 문제를 고려하여 보울 내경, 채널의 폭, 수심 등을 정하는 수식들을 유도하였으며, 이 수식들을 실제 설계에 이용하는 방법에 대해 예를 들어서 설명하였다. 본 논문에서는 슬러지 입자의 배출을 위한 침강 문제를 고려하여 보울의 길이를 결정하는 수식을 유도하고 관련 설계공식들의 적용에 대한 방법을 제시하고자 한다.

원심분리기의 스크류 축(screw shaft; 제 1보의

Fig. 1 참조)에서 분출된 혼합액은 스크류 날개(screw blade)의 뒷면(Fig. 1b에서 보인 각 날개의 왼쪽 면)에 일단 부딪힌다. 이 때, 혼합액의 반경방향 분출 속도에 비해 스크류 날개의 원주방향 회전속도 성분이 일반적으로 훨씬 더 크고 또 스크류 날개는 원주 방향에 대해 비틀려 있기 때문에 혼합액은 분출 즉시 날개 뒷면에 부딪힌다고 보아도 좋다. 이 후의 상황에 대한 가능성은 두 가지이다. 하나는, 액체 제트가 충돌 후 방울 모양으로 되튀어나가는 것이고, 다른 하나는 충돌 위치에서 그대로 날개 표면에 부착되어 얇은 층의 형태로 유지되면

접수일: 2003년 2월 6일; 게재승인일: 2003년 8월 14일

# 교신저자: 동아대학교 기계산업시스템공학부

E-mail: yksuh@mail.donga.ac.kr, Tel: (051) 200-7648

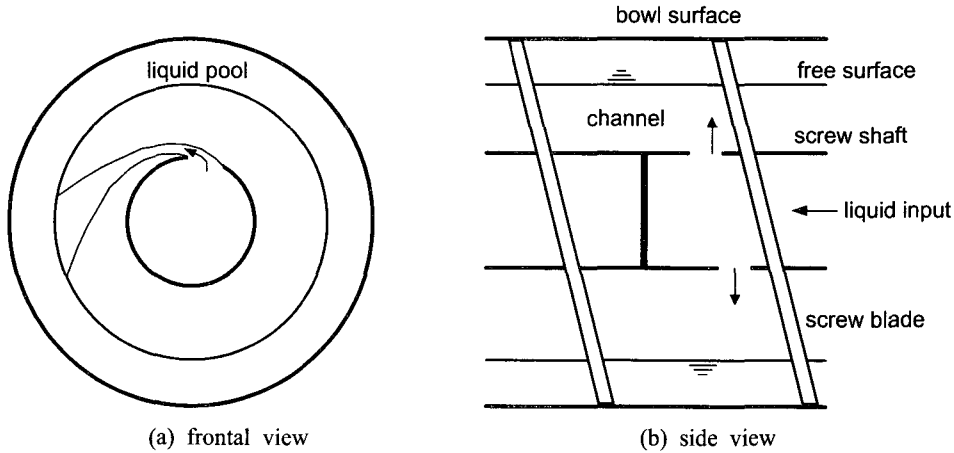


Fig. 1 Ejection of liquid from holes on the screw shaft and its jumping into the liquid pool inside the channel

서 흐르는 양상이다. Fig. 1은 후자의 상황이 타당하다고 가정하여 그린 모양이다.

이렇게 채널 내에 고인 액체 속에 투입된 혼합액은 채널을 따라 하류로 흐르고, 이 과정에서 액체보다 무거운 슬러지 입자는 점점 가라 앉는다 (Fig. 2). 이 때, 가벼운 슬러지는 느린 속도로 가라 앉기 때문에 보울의 표면에 닿기 전에 좌측의 액체 배출구를 통해 배출되어 결국 분리되지 않는 반면 (그림에서 A의 궤적), 무거운 슬러지 입자는 보울의 표면에 닿은 뒤 스크류 날개에 의해 쓸려 배출구 쪽으로 이송되어 배출된다(그림에서 B의 궤적).

채널의 길이  $L_s$ 가 크면 가벼운 입자 A도 바닥에 가라앉게 할 수 있어 분리가 가능하다. 즉 채널을 길게 설계할수록 분리 효율을 증대시킬 수 있다. 그러나 이것은 채널 내 유체흐름의 난류특성을 고려하지 않을 때에만 타당하다. 실제로는 난류작용에 의해 상대적으로 작고 가벼운 입자들은 부유하여 채널 길이와 무관하게 좌측의 배출구를 통해 배출되기 때문에 분리되지 않는다. 제1보는 이러한

점을 감안하여 채널 단면의 형상과 크기를 결정하는 문제를 다룬 것이다.

본 논문에서는 입자의 부유 문제와 별도로 입자의 침강(sediment)만을 고려하여 침강에 필요한 시간이 확보될 수 있도록 채널 길이를 정하며, 이에 따라 보울의 길이를 결정하는 문제를 다룬다.

한편, 원심분리기에 대한 기본 개념과 종류, 구조 및 원리에 대해서는 Records와 Sutherland<sup>1</sup>가 정리한 바 있으나, 설계자를 위해 유체역학적으로 깊이 있게 다룬 연구결과는 찾아볼 수 없다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2절에서는 입자의 크기별 분포에 관한 통계적 특성을 정량화하는 문제를 다루고, 제3절에서는 입자의 크기와 침강 속도와의 관계를 수식화한 뒤 비선형 방정식을 푸는 방법을 설명한다. 제4절에서는 분리효율, 제5절에서는 보울의 길이를 결정하기 위한 수식과 계산 순서, 제6절에서는 이의 구체적인 계산 예를 들어 설명하고, 마지막으로 제7절에서 결론을 맺는다.

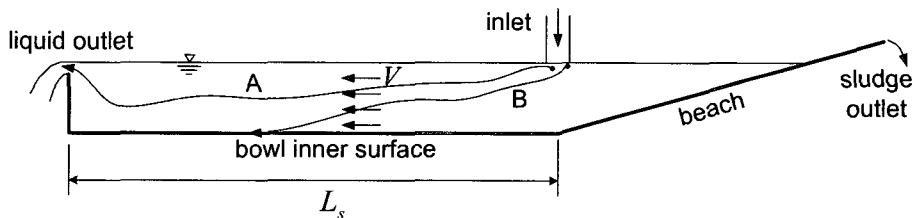


Fig. 2 Spreaded view of the channel inside the centrifuge. The screw blades are parallel to this plane

## 2. 입자의 분포

우선 액체 내에 혼입된 슬러지 입자의 크기별 분포에 대한 통계학적 정의를 분명히 해야 한다. 입자의 직경을  $d$ 라 하고, 전체 입자 중에서 직경  $d$  이하인 모든 입자의 구성비를  $F(d)$ 라 하면 이 함수는 통계학적으로 확률분포함수(probability distribution function)에 해당한다. 즉

$$F(0) = 0, \quad F(\infty) = 1 \quad (1)$$

이다. 한편 확률밀도 함수  $f(d)$ 는 이것을 미분한 것이다:

$$f(d) = F'(d)$$

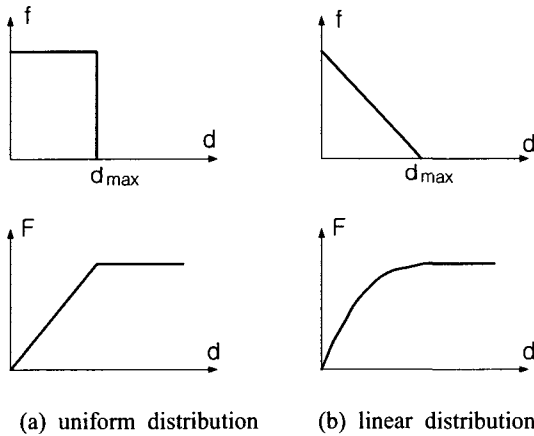


Fig. 3 Typical shapes of the probability distribution function  $F(d)$  and the probability density function  $f(d)$  for the case (a) in which the particle size is uniformly distributed and for the case (b) in which the number of particles decreases linearly with the particle diameter

Fig. 3은 직경에 따른 입자의 개수가 균일하게 분포된 경우와 직선 모양으로 분포된 경우에 대해 두 함수의 관계를 스케치한 것이다.

## 3. 입자의 직경과 침강속도와의 관계

직경인  $d$ [m]인 입자의 정지유체 중에서의 침강운동은 입자에 작용하는 세 가지 힘 즉 원심력,

부력 및 유동항력에 의해서 결정된다. 정지상태에서부터 입자가 가속하는 천이 과정을 무시한다면 입자의 침강은 종속도(final speed)  $v$ [m/s]에 의해 지배된다. 이 때는 위 세 힘이 평형을 이루므로 관계식은 다음과 같다.

$$c_D \frac{1}{2} \rho_w \left( \frac{\pi d^2}{4} \right) v^2 = G(\rho - \rho_w) g \frac{\pi}{6} d^3 \quad (2)$$

위 식에서 좌변은 유동항력, 우변은 입자에 가해지는 원심력과 부력의 차이이다. 그리고,  $\rho$ 는 입자의 밀도 [ $\text{kg/m}^3$ ]로서

$$\rho = S \rho_w$$

이며,  $S$ 는 입자의 비중,  $\rho_w$ 는 액체의 밀도 [ $\text{kg/m}^3$ ]이다. 중력인자(gravitational factor)  $G$ 는 원심력에 따른 중력효과를 나타내며, 보울 내경  $D$  [m], 회전속도  $N$  [rpm], 중력가속도  $g$  ( $=9.8[\text{m/s}^2]$ )에 대해 아래와 같이 구해진다.

$$G = \frac{D(2\pi N/60)^2}{2g}$$

한편, 항력계수  $c_D$ 는 층류와 낮은 레이놀즈 수의 난류의 경우에 대해 동시에 적용할 수 있는 식을 사용해야 한다. 구에 대한 항력계수로 가장 널리 사용되는 두 가지 식은 White<sup>2</sup>가 제시한<sup>3</sup>

$$c_D = \frac{24}{Re_d} + \frac{6}{1 + \sqrt{Re_d}} + 0.4$$

와 토목공학에서 빈번히 사용하는

$$c_D = \frac{24}{Re_d} + \frac{3}{\sqrt{Re_d}} + 0.34 \quad (3)$$

의 식이다(사용 예로서, 참고문헌 [4-5]). 여기서  $Re_d$ 는 입자의 직경과 유속을 기준으로 한 레이놀즈 수로서

$$Re_d = \frac{vd}{\nu} \quad (4)$$

이다. 어느 쪽을 사용하더라도 큰 차이는 없으며,

본 연구에서는 식 (3)을 택하였다. 식 (3)의 우변 첫 항이 Stokes 점성법칙에 따른 항력 계수이다.

식 (2), (3) 및 (4)는 직경  $d$ 와 그 외 모든 유체 및 입자의 속성이 주어졌을 때 중속도  $v$ 를 계산할 수 있게 하거나, 혹은 그 반대로  $v$ 가 주어졌을 때  $d$ 를 계산할 수 있게 한다. 그러나  $v$ 와  $d$ 는 모두 암시적(implicitly)으로 이 식들에 참여하기 때문에 직접 계산할 수는 없고 반복법을 사용해야 한다. 결과적으로 이 세 식은 아래와 같이 하나의 식으로 만들 수 있다.

$$Ad^2 - Bv^2d - Cv = Dv\sqrt{vd} \quad (5)$$

이 식에서 상수  $A, B, C$  및  $D$ 는

$$\begin{aligned} A &= G(S-1)g, & B &= 18 \times 0.34 \\ C &= 18\nu, & D &= 54\sqrt{\nu} \end{aligned} \quad (6)$$

이다.

먼저,  $d$ 를 구할 때는 우변을 반복 과정에서 지는 것으로 취급할 수 있다. 그러면 이 식은  $d$ 에 관한 2차 방정식의 꼴이다. 근의 공식을 적용하면

$$d = \frac{1}{2A} [Bv^2 + \sqrt{(Bv^2)^2 + 4A(Cv + Dv\sqrt{vd})}] \quad (7)$$

이 된다. 이렇게 해서 구한  $d$ 가 처음에 가정한  $d$ 와 비교해서 차이를 보일 때에는 계산을 반복한다. 다음 절에서의 수식화의 편이를 위해, 침강속도  $v$ 에 해당하는 입자의 직경  $d$ 를 함수  $h(v)$ 로 표시하도록 한다.

$$d = h(v) \quad (8)$$

다음으로,  $v$ 를 구할 때는 식 (5)의 우변이 중요한 역할을 하므로 이대로 하여 근을 구한다면 반복 계산 과정이 발산한다. 이 때는 우변을 좌변으로 넘겨서

$$Bdv^2 + (C + D\sqrt{vd})v - Ad^2 = 0 \quad (9)$$

으로 만든 뒤 근의 공식을 적용해야 한다.

$$\begin{aligned} v &= \frac{1}{2Bd} [-\beta + \sqrt{\beta^2 + 4ABd^3}] \quad (10) \\ \beta &= C + D\sqrt{vd} \end{aligned}$$

#### 4. 분리가능 입자의 크기 예측

보울의 길이를 결정하기 위해서는 보울의 길이에 따른 분리가능한 입자의 크기를 예측하는 수식을 확보할 필요가 있다.

길이  $L_s$ 의 채널을 따라 액체가 평균 유속  $V$ 로 하류로 흘러가서 마침내 배출구(weir)에 도달할 때까지의 시간을 유지시간(retention time)이라 부르며 아래 식으로 구할 수 있다.

$$T_t = \frac{L_s}{V} \quad (11)$$

원심분리기 내 액체가 있는 부분의 깊이를  $H$ , 보울 내면으로부터의 수직 좌표를  $y$ 라 하고(Fig. 4 참조), 채널 내 유속이 단면에 걸쳐 균일한 것으로 가정하면 유체입자의 유지시간  $T_t$ 은  $y$ 와 무관하게 일정하다. 그러면

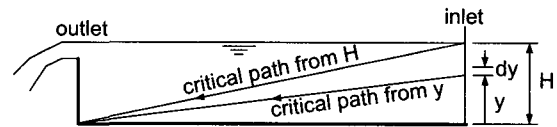


Fig. 4 Paths of fluid particles along the channel having critical velocity at the free surface and at an arbitrary position  $y$  under the liquid inlet

$$v_y = \frac{y}{T_t}$$

은 위치  $y$ 에 있는 입자가 겨우 액체 배출구를 벗어나는 입자의 침강속도이다.  $y=H$ (자유표면)에서 이것은

$$v_H = \frac{H}{T_t} \quad (12)$$

이다. 침강속도가  $v_y$ 인 입자의 직경을  $d_y$ 라 한다면

$$d_y = h(v_y) \quad (13)$$

으로 나타낼 수 있다.

혼합액이 유입되는 지점에서 수직 위치에 관계 없이 입자는 고른 분포를 보인다고 가정하면, 수직 좌표  $y$  상의 미소 거리  $dy$  내에 포함된 입자의 개수는  $Ndy/H$ 이다. 여기서  $N$ 은 유입된 입자의 전체 개수이다.

보물 바닥에 가라앉지 못하고 액체 배출구를 통해 빠져나가는 입자들 중에서 직경이  $\alpha$  이하일 확률을 알고자 한다.  $\alpha$ 에 해당하는 임계높이를  $\eta$ 라 하자; 즉 유입구의 수직 위치  $y = \eta$ 에서 직경  $d = \alpha$ 의 입자는 하류로 흘러가서 배출구를 겨우 넘어간다. 그러면 아래 식과 같이 쓸 수 있다.

$$\alpha = h(\eta / T_l) \quad (14)$$

입자직경  $d_H$ 는 자유표면에서 출발하여 배출구를 겨우 넘어가는 크기이므로, 예를 들면  $\alpha > d_H$ 의 경우에는 입자가 어느 위치에 있든지 배출구를 넘어가지 않고 바닥에 가라앉는다.

한편, 위치  $y$  상의 미소 거리  $dy$  내에 포함된 입자 중에서 액체 배출구로 빠져나가는 입자는 이 위치에서의 임계 직경  $h(y/T_l)$ 보다 작은 것들이다. 미소 거리  $dy$  내에 포함된 입자들 중에서 이 입자들이 차지하는 비율은 바로 확률분포함수  $F[h(y/T_l)]$ 와 같다. 따라서 이 입자들의 개수는  $dy$  내에 포함된 전체 입자 개수  $Ndy/H$ 를 곱한

$$F[h(y/T_l)] \frac{N}{H} dy$$

이 된다. 따라서  $y < \eta$ 에 있는 모든 지역의 입자들 중에서 배출구를 통과하는 입자의 전체 개수는

$$\frac{N}{H} \int_0^\eta F[h(y/T_l)] dy$$

이다.

다음,  $y \geq \eta$ 에 있던 직경  $\alpha$  이하의 입자들 중 배출구를 통과하는 입자의 개수를 구해보자.  $\alpha$ 의 정의에 의해 이 영역에 있는 직경  $\alpha$  이하의 입자들은 모두 배출구를 통과한다. 따라서, 이 영역의 해당 개수는

$$N \int_\eta^H F(\alpha) dy / H = NF(\alpha)(1 - \eta/H)$$

이다. 그러므로,  $0 \leq y \leq H$ 의 모든 층에 있는 직경  $\alpha$  이하의 입자들 중에서 배출구를 통과하는 입자의 개수는

$$NF(\alpha)(1 - \eta/H) + \frac{N}{H} \int_0^\eta F[h(y/T_l)] dy$$

이며, 그 확률은

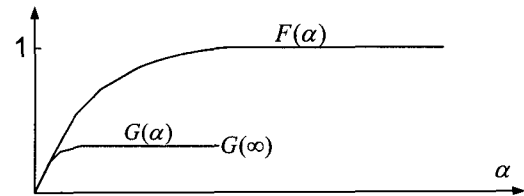


Fig. 5 Probability distribution function  $F(\alpha)$  for the input sludge-particles, probability distribution function  $G(\alpha)$  for the particles ejecting through the liquid outlet, and its ultimate value  $G(\infty)$

$$G(\alpha) = F(\alpha)(1 - \eta/H) + \frac{1}{H} \int_0^\eta F[h(y/T_l)] dy \quad (15)$$

와 같다.

$G(\infty)$ 는, 위 식에서 첫 항을 없애고 둘째 항에서  $\eta$ 를  $H$ 로 교체한 것이다;

$$G(\infty) = \frac{1}{H} \int_0^H F[h(y/T_l)] dy \quad (16)$$

이 값은 즉 유입되는 모든 크기의 입자 중에서 배출구로 빠져나가는 모든 크기의 입자의 양을 전체 투입 양에 대한 비율로 나타낸 것이다. Fig. 5는 투입되는 입자들의 확률분포함수  $F(\alpha)$ , 액체 배출구를 통해 배출되는 입자들의 확률분포함수  $G(\alpha)$ , 및 모든 배출 입자의 전체 입자에 대한 확률  $G(\infty)$ 의 모양을 스케치한 것이다.

$d_c$ 를  $F(d_c) = G(\infty)$  되는 값으로 생각하자; 근사적으로  $d_c$ 는 액체 배출구를 통과하는 입자의 최대직경이 된다. 그러면 균일분포의 경우

$$F(\alpha) \cong \alpha/d_{\max}$$

이므로

$$d_c = d_{\max} G(\infty) \quad (17)$$

이다. 즉, 액체 배출구를 통과하는 입자의 최대 직경은 초기 최대 직경의  $G(\infty)$  배이다. 따라서 분리 효율의 분석에서는  $G(\infty)$ 이 가장 중요한 값으로 작용한다.

만약 유동항력으로서 Stokes의 법칙을 적용한다면, 균일분포의 경우는

$$G(\infty) = \frac{2}{3} \frac{d_H}{d_{\max}}$$

이고 직선분포의 경우는

$$G(\infty) = \frac{4}{3} \frac{d_H}{d_{\max}}$$

이므로,  $d_c$ 는

$$d_c = kd_H \quad (18)$$

로 구할 수 있다. 여기서  $k$ 는 입자의 초기 분포에 의해 결정되는 상수로서 1 근처의 값을 가진다:

$$k = \frac{2}{3} \text{ (균일분포)}, \frac{4}{3} \text{ (직선분포)}$$

통계학적으로 작은 입자가 많을수록  $k$  값은 증가한다.

### 5. 보울 길이의 결정을 위한 계산순서

$v_H$ 가 정해지면 보울의 길이  $L_{cyl}$ 은 아래 식으로 구한다.

$$L_{cyl} = (L_s + L_i + \pi D_m \cos \theta_m) \sin \theta_m \quad (19)$$

$$L_s = \frac{V}{v_H} H \quad (20a)$$

$$L_i = \frac{L_a}{\sin \theta_m} \quad (20b)$$

$$\tan \theta_m = \frac{L_p}{\pi D_m} \quad (20c)$$

위 식들에서  $D_m$ 은 보울 내면과 자유표면 사이 중간 지점의 직경,  $\theta_m$ 은 그 지점에서의 스크류 날개의 나선각(helix angle),  $L_p$ 는 스크류 날개의 축방향 피치이다. 그리고 식 (20a)는 식 (11)과 (12)로부터 유도된다.

Fig. 6은 식 (19)의 유도를 위한 채널의 스케치이다. 스크류 날개 상의 혼합액 분출구멍은 보통 보울과 원추 실린더(cone cylinder; 제1보의 Fig. 1에서 길이  $L_{con}$ 으로 표시한 부분)가 만나는 지점 근처에 배치한다. 이 구멍을 통해 분출된 혼합액은 축방향으로 어느 정도 이동한 뒤 자유표면에 입수한다. 이 지점까지의 축방향 거리를 식 (19)와 Fig. 6에서는  $L_a$ 로 표시하였다. 슬러지 입자의 유지시간은 자유표면으로의 입수 시점부터 측정되어야 하기 때문에 식 (19)의 우변 괄호 내 두 번째 항이 추가된 것이다. 그리고, Fig. 6의 좌측 끝단에 있는 액체 배출구는 원주 상에 여러 개 배치되어 있기 때문에 악조건으로 하여 분출구에 가장 가까운 지점을 기준으로 하여 거리  $L_s$ 를 잡아야 한다. 이 점을 감안한 것이 식 (19)의 우변 괄호 내 마지막 항이다.

이제 지금까지의 수식을 사용하여 원통의 길이를 정하는 계산과정을 정리하면 아래와 같다. 단, 채널의 단면 형상과 관련된 파라미터들(즉, 보울 내경  $D_o$ , 수심  $H$  등)은 사전에 결정되어 있어야 한다.

- (1) 상수  $A, B, C$  및  $D$ 를 식 (6)으로 구해준다.
- (2) 먼저, 걸러내고자 하는 최소직경  $d_c$ 를 정한다.
- (3)  $d_H = d_c/k$ (여기서  $k = 1.2$ 로 정함)으로  $d_H$ 를 구한다.
- (4) 이  $d_H$ 에 해당하는 침강속도  $v_H$ 를 식 (10)을 사용하여 반복법으로 구한다.
- (5) 최종적으로 보울의 길이  $L_{cyl}$ 을 식 (19)로 구한다. 단  $L_p$ 는 적절히 가정한다(예;  $L_a = 1.5L_p$ ).

### 6. 계산 예 및 검토

외국의 P사에서 제공한 45[m<sup>3</sup>/hr] 급 중용량형 제품의 사양서는 보울의 길이까지 소개하고 있다. Table 1은 이 제품에 대해 위 공식들을 적용하여 계산한 입자의 최소 직경을 구한 결과이다.

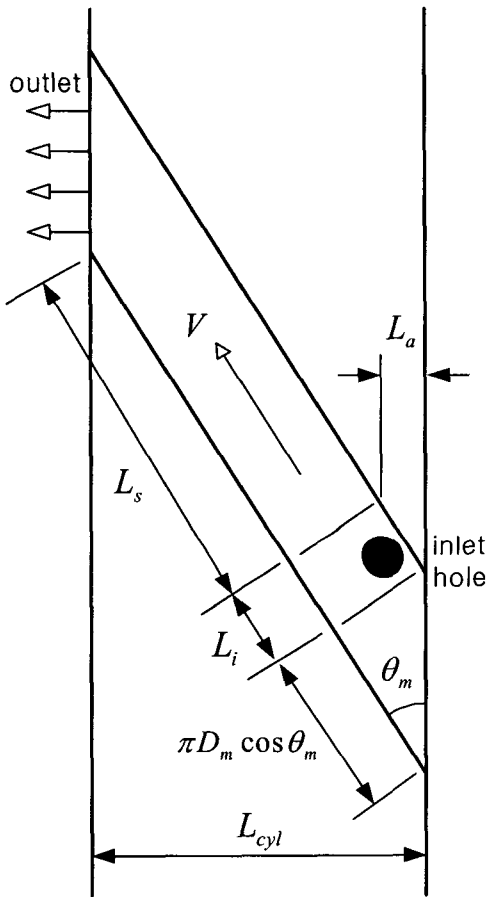


Fig. 6 Top view of the channel between the liquid inlet and outlet

두 제품은 보울의 길이를 제외하면 사양이 동일하다. 결과에 의하면 보울 길이가 큰 쪽(Med.-3)이 더 작은 입자까지 분리할 수 있다. 한편 이 제품은 입자의 부유 문제는 전혀 없었다(제1보의 Table 1 참조). 따라서 사용자의 요구(즉, 거르고자 하는 입자의 직경)에 따라 간단히 보울의 길이만 조정하면 되기 때문에 표준화에 따른 제조단가의 절감을 기할 수 있다.

이제 용량 50 [m<sup>3</sup>/h]급 제품의 설계를 위한 계산 결과를 제시한다. 이의 중요 제원은 제1보에서 제시한 바와 같이

$$Q = 50 \text{ [m}^3\text{/h]}, N = 2000 \text{ [rpm]}, S = 1.025$$

이다. 이에 대해 제1보의 Table 2, 3, 4와 같은 조건에서  $L_{cyl}$ 을 계산한 결과는 각각 Table 2, 3, 4와 같다. 이들 Table에서 보울 직경  $D_o$ , 스크류 피치  $L_p$ , 및 수심  $H$ 는 제1보에서 계산한 결과이다.

Table 1 Numerical results for two products the specification of which are given in a Web page

	Q [m <sup>3</sup> /hr]	D <sub>o</sub> [m]	H [m]	L <sub>p</sub> [m]	L <sub>cyl</sub> [m]	d <sub>c</sub> [m]
P-Co. (Med.-2)	45	0.470	0.099	0.150	0.820	0.0009
P-Co. (Med.-3)	45	0.470	0.099	0.150	1.230	0.0006

Table 2 Numerical results of  $L_{cyl}$  for the same parameter set as Table 2 of the previous paper

d <sub>c</sub>	D <sub>o</sub>	L <sub>p</sub>	H	L <sub>cyl</sub>
0.0001	0.460	0.190	0.092	1.429
0.0002	0.443	0.184	0.089	0.884
0.0004	0.397	0.165	0.079	0.645
0.0006	0.361	0.151	0.072	0.559
0.0008	0.335	0.140	0.067	0.509
0.0010	0.316	0.132	0.063	0.475

결과를 살펴보면, 당연히 예측되는 것이지만 분리시키고자 하는 입자 크기가 클수록 보울의 길이는 짧아진다. 그리고 더욱 중요한 사실은 같은 입자의 크기에 대해 보울의 직경이 작을수록 길이도 길어져야 한다는 점이다. 이는 보울의 직경이 작아지면 원심력 효과도 줄어들고 이에 따라 임계 침강 속도  $v_H$ 가 작아져서 같은  $V$ ,  $H$ 라 하더라도  $L_s$ 가 커져야 하기 때문이다(식 20a 참조). 이렇게 본다면, 동일한 분리성능을 놓고 보울 직경을 줄이

고 길이를 길게 하느냐 아니면 반대로 직경을 크게 하고 길이를 작게 하느냐의 선택의 문제가 발생한다. 이 선택의 문제는 결국 소음/진동이나 다른 공학적 또는 경제학적 관점에서 검토되어야 할 것이다.

Table 3 Numerical results of  $L_{cyl}$  for the same parameter set as Table 3 of the previous paper

$d_c$	$D_o$	$L_p$	H	$L_{cyl}$
0.0001	0.514	0.186	0.090	1.194
0.0002	0.494	0.179	0.087	0.768
0.0004	0.441	0.161	0.077	0.574
0.0006	0.400	0.146	0.070	0.500
0.0008	0.371	0.136	0.065	0.457
0.0010	0.350	0.128	0.061	0.428

Table 4 Numerical results of  $L_{cyl}$  for the same parameter set as Table 4 of the previous paper

$d_c$	$D_o$	$L_p$	H	$L_{cyl}$
0.0001	0.617	0.254	0.062	1.018
0.0002	0.590	0.243	0.059	0.745
0.0004	0.523	0.216	0.052	0.595
0.0006	0.474	0.196	0.047	0.527
0.0008	0.439	0.182	0.044	0.485
0.0010	0.414	0.172	0.041	0.455

Fig. 7은 Decanter 원심분리기 전문 국제 메이커들의 제품 사양을 참고하여 보울 직경  $D_o$ [mm]와 용량  $Q$ [m<sup>3</sup>/hr]와의 관계를 로그-로그 그래프에 표시한 것이다. 그림에서 직선은

$$D_o = 60Q^{0.54} \quad (21)$$

에 해당한다. 제1보의 식 (17)에 따르면 다른 파라미터들이 모두 일정하다고 할 때  $D_o$ 와  $Q$ 의 관계는

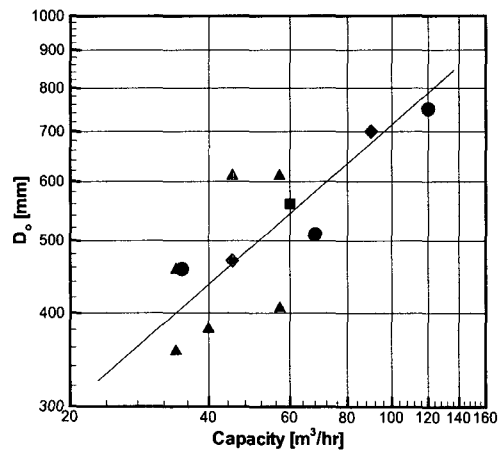


Fig. 7 Statistics of bowl diameter versus the capacity for the various international Decanter makers; ● W-Co., ◆ P-Co., ▲ B-Co., ■ C-Co. Refer to the text for the solid line

$$D_o \sim Q^{0.4}$$

와 같이 되어야 한다. 곡선 맞춤식 (21)의 지수는 이론치보다 약간 더 크다는 사실을 알 수 있다. 이는 물론 원심분리기의 용량 혹은 보울 직경과 더불어 채널의 형상이나 회전 속도 등이 마땅히 달라져야 한다는 사실을 감안하면 이해가 된다.

## 7. 결론

본 연구에서는 제1보에 이어 원심분리기의 보울 길이를 결정하기 위한 공식들을 유도하였으며, 이의 계산 방법과 아울러 구체적인 계산 예를 들어서 설명하였다.

보울의 길이는 분리시키고자 하는 최소 입자직경이 작을수록 길게 해야 한다. 그리고 같은 입자직경에 대해 보울의 직경이 작을수록 보울 길이는 길게 설계해야 한다.

Decanter형 원심분리기의 국제 메이커에서 제시한 사양을 분석한 결과 용량과 보울 외경과의 관계는 대체로 식 (21)과 같으며, 이 식의 형태는 이론식으로부터도 어느 정도 이해할 수 있다. 이 관계식은 또한 동일한 입자분리성능에 대해 보울 직경을 크게하고 길이를 작게 하느냐 혹은 그 반대로 직경을 작게 하고 길이를 크게 하느냐의 선택에 실



질적인 참고가 될 수 있다.

### 후 기

본 연구는 한국과학재단(KOSEF) 지정 신소형 재 가공청정공정개발연구센터(과제번호; R12-2002-058-01004-02003)의 지원으로 수행되었음.

### 참고문헌

1. Records, A. and Sutherland, K., Decanter Centrifuge Handbook, Elsevier Advanced Technology, 2001.
2. White, F.M., Viscous Fluid Flow, McGraw-Hill Book Co., 1981.
3. Maeng, J. S., Suh, Y. K. and Kim, K. C., Fluid Mechanics(in Korean), Byung-Jin Pub. Co., 2003.
4. Benning, J. L., "Development of Alternative Crab Claw Processing Systems to Minimize Environmental Impact," M.S. Thesis of Virginia Polytechnic Institute and State University, 1997.
5. Zytner, R. G., Water Quality, Lecture Note available from the Web <http://www.eos.uoguelph.ca/webfiles/zytner>, 2003.