

DAF공정의 궤적분석에서 유선과 운동함수의 적용이 기포와 플록의 충돌효율에 미치는 영향

김성진 · 곽동희** · 임영환*

여수한영대학 보건환경과

*서남대학교 환경화학공학부

Effect of Application of Streamline and Mobility Function on Bubble-Floc Collision Efficiency for Trajectory Analysis of DAF Process

Kim, Seong-Jin · Kwak, Dong-Heui** · Lim, Young-Hwan*

Division of Environmental and Chemical Engineering, Seonam University

*Department of Sanitary Environmental Engineering, Seonam University

(Received 2 October 2004, Accepted 21 October 2004)

Abstract : Many researchers have been carrying on study to figure out the exact collision efficiency between bubble and floc. Collision efficiency can has generally been quantified by using trajectory analysis which uses the hydrodynamic, the electrostatic and van der waals forces. Two types of method are considered to induce the hydrodynamic force in the trajectory analysis. One is to use stream function and the other is to use mobility function. There was some difference between stream and mobility function depending upon modelling factors and conditions in trajectory analysis.

keywords : Dissolved-air flotation, Bubble, Flotation separation, Streamline, Trajectory analysis

1. 서론

DAF(dissolved air flotation) 공정에 의한 입자분리는 입자와 기포 상호간의 충돌과 부착에 대한 물리-화학적 특성을 기초로 한다(곽 등, 2002). 부상하는 미세기포에 입자가 충돌과 부착에 관한 연구는 90년대 초반부터 발표되었으며, Tambo 등 (1985)은 난류상태하에서 미세기포와 플록의 입자군수지(population balance in turbulants, PBT)에 기초한 동력학적 모델을 소개하였고, Malley와 Edzwald (1990, 1991)는 충류상태에서 적용 가능한 개념적 모델(single collision collector, SCC model)을 제시하였다. 이 모델에서의 충돌효율은 기존의 수 mm의 큰 기포에 관성력과 중력이 무시할 정도로 작은 입자의 침착에 관한 유체내의 기포의 상승에 따라 생성된 유선(streamline)을 기초한 충돌이론을 그대로 적용하고 있다.

90년대 후반에 이르러 Han 등(1999, 2001)과 Leppinen (1999) 운동함수를 이용한 궤적분석(trajecctory analysis)을 통해 다소 세밀하게 예측할 수 있는 충돌모델을 발표하였다. 최근에는 PBT 및 SCC 등 간략한 모델을 이용한 부상 효율 해석(곽 등, 2003)과 복잡하지만 세밀한 정보를 얻을 수 있는 궤적분석을 통하여 실제 DAF공정의 운전이나 설계를 적용하고 있다.

본 연구는 DAF 공정에서 기포와 버블의 충돌특성의 해석과 예측에 활용되는 궤적분석에 있어서, 기초적으로 대별되는 두 가지의 이론, 즉 유선함수(streamline function)와 운동함수(mobility function)를 각각 궤적분석에 적용하여 기포와 플록간의 충돌효율을 해석하고 예측하였다. 이에 따라 본 연구에서 얻은 결과를 바탕으로 두 가지의 이론의 특징 및 차이점을 파악하고, 충돌효율을 예측함에 있어 이 같은 플록과 기포의 작용하는 상호작용력이 실제 DAF공정에서 충돌효율에 미치는 영향을 확인하고자 하였다.

2. 기포-플록의 충돌효율과 궤적분석

2.1. 기포와 플록의 충돌효율

기포의 크기(R_b)가 입자의 크기(R_p)에 비해 매우 큰 조건에서, 즉 관성력(inertial force)의 영향을 받지 않는 미세 입자의 경우, 충돌효율이란 입자를 포획하기 위한 정량화시킨 기포의 능력을 나타내며 식 (1)과 같이 정의된다.

$$E_c = \frac{N \pi X_c^2}{N \pi R_b^2} = \left(\frac{X_c}{R_B} \right)^2 \quad (1)$$

위 식 (1)은 유선함수(stream function)를 이용하여 유체내에 상승하는 기포를 중심으로 기포 주변의 생성된 유선(streamline)에 미세 입자의 침착(deposition)에 관한 궤도분

* To whom correspondence should be addressed.

석(trajjectory analysis)을 통한 충돌효율의 예측에 있어 주로 사용되었다.

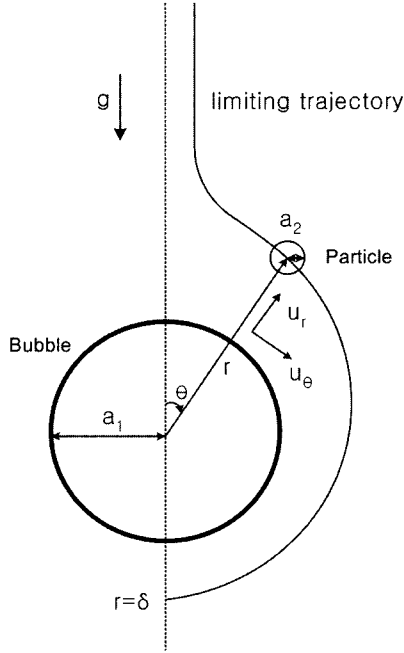


Fig. 1. Polar coordination system for trajectory of a bubble and a particle.

Jeffrey와 Onish(1984)에 의해 기포의 크기 뿐만 아니라 입자의 크기를 동시에 고려한 기포와 입자의 충돌효율에 관한 보다 정확한 수학적인 해가 정립되었고 이를 바탕으로 Yoon과 Luttrell (1989)에 의해 다음 식 (2)와 같이 기포와 입자의 충돌효율을 정의하게 되었다. 아래 식 (2)는 최근 운동함수(mobility function)를 이용한 충돌효율을 예측하는데 널리 이용하고 있다.

$$E_c = \frac{N \pi X_c^2}{N \pi (R_p + R_b)^2} = \frac{X_c^2}{(R_p + R_b)^2} \quad (2)$$

2.2. 유선함수에 의한 궤도분석 지배 방정식

유선함수에 의한 궤적을 분석하기 위한 가정 조건은 아래와 같다

- 고정입자와 기포는 구형이다.
- 기포의 반지름(R_b)는 입자의 반지름(R_p)보다 매우 크다. 그래서 기포의 표면에서 짧은 거리(short distance)에서 국부적으로 기포표면은 평평하다고 가정한다.
- 기포의 수리역학장에서 입자에 의한 교란(disturbance)은 입자와 가까운 아주 작은 범위에 한정되어 있으며, 기포 주위의 유체의 속도향에 영향을 미치지 않는다.
- 이웃하는 기포들에 의해 기포의 상승속도의 변화만을 초래할 뿐 각각의 기포 가까이의 수리역학장에 영향을 끼치지 않는다.
- 기포가 스토크영역 내에 있을 경우, 기포의 표면은 고정화(immobilized)되며, 퍼텐셜 영역일 경우는 완전히

유동적(mobile)이다.

- 입자와 기포사이의 상호작용은 분자(molecular)와 정전기적 힘들만이 작용한다.
- 입자는 브라운 운동(brownian motion)을 하지 않는다.
- 입자와 기포의 밀도차이의 거의 없고 침전의 영향은 없다.

$z = r - R_B$ 일 때, 입자와 기포사이의 무차원 거리는 식 (3)과 같이 표현된다.

$$H = \frac{z}{R_p} - 1 = \frac{h}{R_p} \quad (3)$$

F_N 은 입자에 작용하는 추진력(driving forces)으로 다음과 같이 정의한다.

$$F_N = F_{VDL} + F_{EDL} + F_H \quad (4)$$

만약, 기포와 입자사이의 거리가 100nm이상일 경우(LHI)에는 F_{VDL} 과 F_{EDL} 은 무시하며 다음 식 (5)와 같이 축약된다.

$$F_n = F_H \quad (5)$$

기포 주위를 흐르는 수직방향 및 접선방향의 속도향은 다음 식 (6) 및 식 (7)과 같이 H의 함수로 변형하여 쓸 수 있다.

$$u_r = u_z = R_p \frac{dr}{dt} = \frac{F_N f_1}{6\pi\mu R_p} \quad (6)$$

$$u_\theta = R_B \frac{d\theta}{dt} = u_\theta f_3 \quad (7)$$

윗 식을 무차원으로 수정하면 다음과 같다.

$$\frac{dH}{d\theta} = \frac{R_B F_n(\theta, H) f_1(H)}{6\pi\mu R_p^2 u_\theta(\theta, H) f_3} \quad (8)$$

2.3. 운동함수에 의한 궤도분석 지배방정식

유체내의 두 입자의 속도는 중력과 입자 상호간의 힘, 브라운 운동에 의해 발생하는 속도의 합으로 표현된다.

$$V = V_g + V_r + V_{br} \quad (9)$$

외부의 작용력 F가 있을 때 입자의 속도는 다음과 같이 나타낸다.

$$V_1 = b_{11}F_1 + b_{12}F_2 \quad (10)$$

$$V_2 = b_{21}F_1 + b_{22}F_2 \quad (11)$$

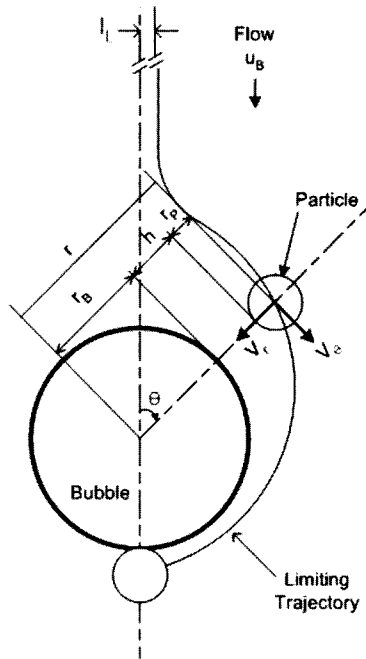


Fig. 2. Stream function trajectory for a fine particle ($R_p < 10\mu\text{m}$).

여기서 b_{11} 등은 두 입자의 거동을 기하학적인 성분으로 나타낸 것이다. 입자의 움직임은 r 방향에 대하여 서로 대칭이기 때문에 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$b_{\alpha\beta} = \frac{1}{3\pi\mu(a_\alpha + a_\beta)} \left\{ A_{\alpha\beta} \frac{\pi}{r^2} + B_{\alpha\beta} \left(1 - \frac{\pi}{r^2}\right) \right\} \quad (12)$$

여기서 α 와 β 는 두 개의 입자를 말하며 r 는 단위 2차 Tensor이고 무차원 상수 $A_{\alpha\beta}$, $B_{\alpha\beta}$ 는 무차원 거리 s 와 입자의 크기비 λ 로 나타내는 무차원 함수이다. 한편, 중력에 의한 두 입자의 상대속도 식은 아래와 같다.

$$\begin{aligned} U_{12}(r) &= U_2 - U_1 \\ &= 6\pi\mu A_1 U_1 (b_{21} - b_{11}) + 6\pi\mu A_2 U_2 (b_{22} - b_{12}) \\ U_{12}(r) &= U_2 - U_1 = (\lambda^2 \gamma - 1) U_1 \end{aligned} \quad (13)$$

여기서, γ 는 밀도차로서 ρ_1 , ρ_2 와 ρ_f 는 각각 입자 1, 2와 유체의 밀도이다.

식 (13)으로부터 Yotsumoto & Yoon (1993)의 운동 Tensor로 대치하면 다음과 같다.

$$U_{12}(r) = U_{12} \left[\frac{\pi}{r^2} L(s, \lambda) + \left(1 - \frac{\pi}{r^2}\right) M(s, \lambda) \right] \quad (14)$$

입자의 상대속도를 직교좌표계를 통하여 표현하면 다음과 같이 변환된다.

$$U_x = (\lambda^2 - 1) \sin\theta \cos\theta [L(s, \lambda) - M(s, \lambda)] \quad (15)$$

$$U_y = (\lambda^2 - 1) [\cos^2\theta L(s, \lambda) + \sin^2\theta M(s, \lambda)] \quad (16)$$

입자 상호 작용력은 r 방향과 같거나 반대방향이며 이것을 입자 상호의 퍼텐셜(Φ_{ij})로 나타내면 다음과 같다.

$$F_1 = -F_2 = -\nabla\Phi_{ij} \quad (17)$$

입자 상호 작용력으로 인한 상대속도는 아래와 같다.

$$\begin{aligned} U_{12}(r) &= U_2 - U_1 = -(b_{11} + b_{22} - b_{12} - b_{21}) \nabla\Phi_{ij} \\ &= \frac{1}{6\pi\mu} \left(\frac{1}{A_1} + \frac{1}{A_2} \right) \left\{ G(s, \lambda) \frac{\pi}{r^2} + H(s, \lambda) \left(1 - \frac{\pi}{r^2}\right) \right\} \nabla\Phi_{ij} \end{aligned} \quad (18)$$

한편, 입자 확산 계수(D_{12})는 다음과 같이 나타낸다.

$$D_{12} = \frac{kT}{6\pi\mu} \left(\frac{1}{A_1} + \frac{1}{A_2} \right) \quad (19)$$

각 입자에 작용하는 힘은 크기가 같고, r 성분의 방향이거나 반대 방향으로 작용한다. 이것은 입자상호의 총 퍼텐셜에너지(total potential energy, Φ_{12})를 미분한 후 음(-)으로 표시하면 다음과 같다.

$$U_{12} = \frac{D_{12}}{KT} \left\{ G(s, \lambda) \frac{\pi}{r^2} + H(s, \lambda) \left(1 - \frac{\pi}{r^2}\right) \right\} \nabla\Phi_{12} \quad (20)$$

큰 입자를 중심으로 한 작은 입자의 상대좌에서 상대속도는 중력과 입자간의 작용력의 합이며 r 과 θ 방향으로 상대속도를 분해하면 아래와 같다.

$$u_r = -\cos\theta L(s, \lambda) U_{12} - \frac{D_{12}}{KT} G(s, \lambda) \nabla\Phi_{12} \quad (21)$$

$$u_\theta = M(s, \lambda) \sin\theta U_{12} \quad (22)$$

두 개의 식을 하나로 통합하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} y' = \frac{dr}{d\theta} &= s \frac{U_r}{U_\theta} \\ &= \frac{-\cos\theta L(s, \lambda) U_{12} - \frac{D_{12}}{KT} G(s, \lambda) \nabla\Phi_{12}}{M(s, \lambda) \sin\theta U_{12}} \end{aligned} \quad (23)$$

3. 실험 방법

3.1. 모의실험 방법

본 연구에서는 DAF 공정에서 플록과 미세기포사이의 충돌효율을 분석하기 위한 궤적분석방법은 Table 1에서와 같이 유선함수와 운동함수를 적용하는 두 가지 방식으로 궤적분석을 실시하였다. 본 연구에서는 DLVO 이론에 따라

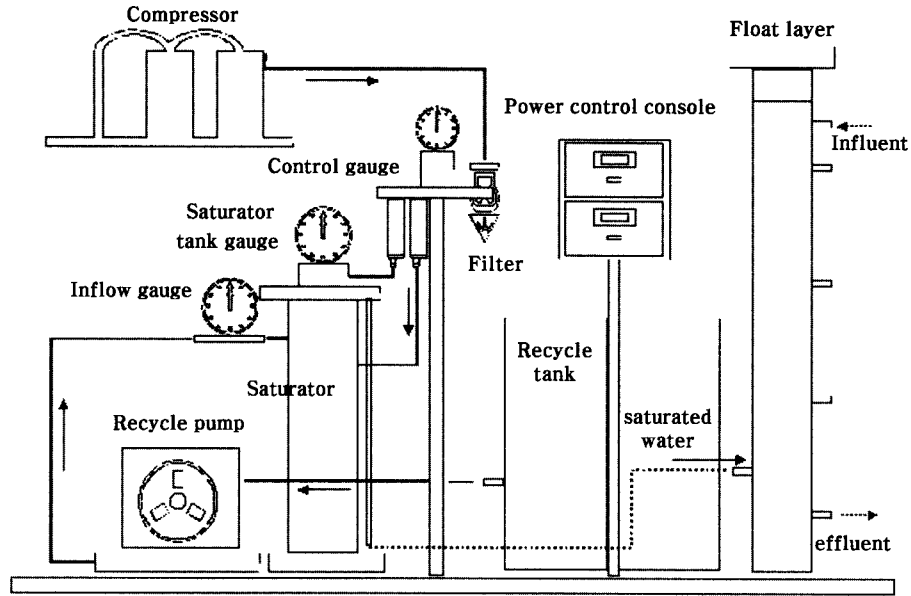


Fig. 3. Schematic diagram of DAF pilot plant.

4. 결과 및 고찰

4.1. 모델 분류에 따른 충돌효율의 비교

DAF공정의 충돌효율 예측을 Table 2와 같이 4가지로 구분하여 모의실험을 실시하였다. 이 결과는 Fig. 4에 나타낸 바와 같이 각 모델별로 모의한 상호 작용력(interaction energy)과 에너지 장벽이 다소 차이를 나타내고 있다. 이 차이는 본 연구에서의 각 모델별로 기포와 플록의 충돌효율을 예측할 경우 격차를 유발할 가능성을 내포하고 있다. 여기서, Leppinen (1999)은 기포와 입자의 제타전위의 부호가 같은 경우를 양성조건(positive condition)이라 정의하였으며, 콜로이드성 물질에서는 이를 불안정한 상태라 정의하기도 한다. 반대로 음성조건(negative condition)은 기포와 입자가 다른 극으로 안정한 상태를 의미한다.

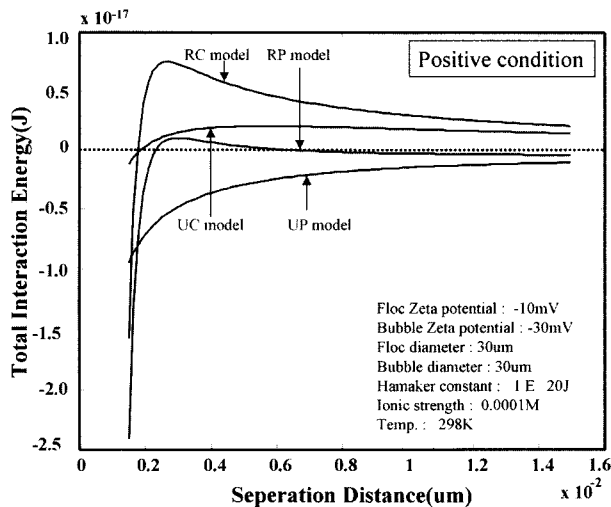


Fig. 4. Difference of energy barrier depending upon the applying of four types of models.

4.2. 유선함수에 의한 모의실험

4.2.1. 플록의 크기에 따른 효율변화

유선함수를 적용한 모델링에 있어 플록의 크기가 효율에 미치는 영향을 살펴보았다. 다음의 Fig. 5와 같이 모델의 종류에 상관없이 플록의 크기가 클 때 충돌효율이 높아지며 플록의 직경이 작은 수록 미세기포와 플록 상호의 충돌이 발생하지 않거나 충돌효율이 낮아지는 결과를 얻었다.

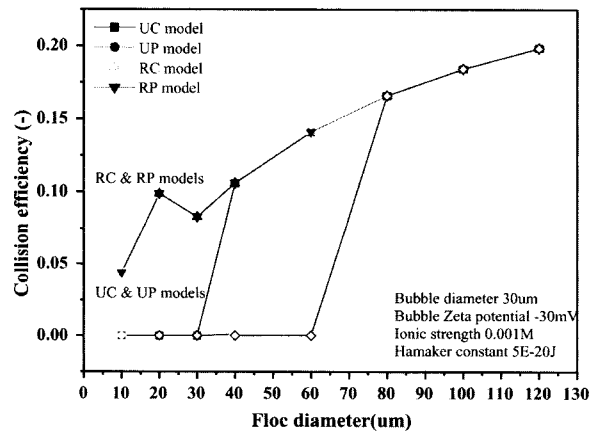


Fig. 5. Effect of floc size on collision efficiency in stream modeling.

4.2.2. 기포 크기의 영향

기포와 플록의 크기에 따른 충돌효율의 영향은 Fig. 6에 나타낸 바와 같이 충돌효율 값에는 다소 차이가 있으나 경향은 모두 유사하였으며, 공통적으로 모두 기포직경이 작고 입자크기가 클수록 충돌효율이 증가함을 알 수 있었다. 이것은 Edzwalds (1990)의 SCC 모델에서의 주장과 일치한다. 그 이유는 SCC에서 사용한 충돌효율이 유선함수 이용한 충돌효율식인 Yoon & Luttrell (1989)의 모델을 사용하기 때문이다.

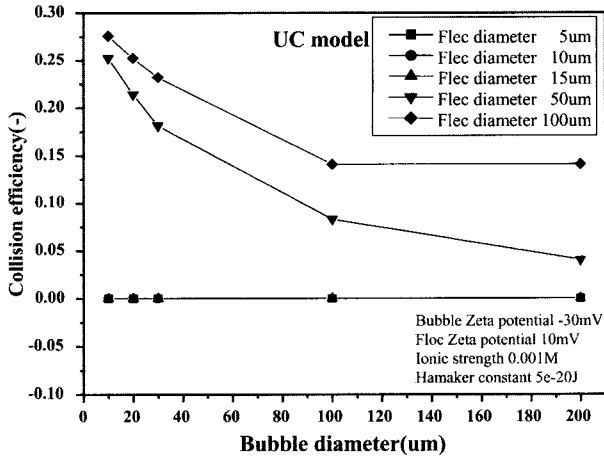


Fig. 6. Effect of bubble size on collision efficiency.

4.2.3. 이온화세기

기포의 제타전위(Z_b)가 -30mV에서 큰 플록에 대한 이온화세기의 충돌효율 영향을 Fig. 7에 나타내었다. 통상 상호한 처리효율을 얻을 수 있는 30 μ m 이상의 영역에서는 모든 모델이 이온화세기의 영향에 대해 거의 영향이 없었다.

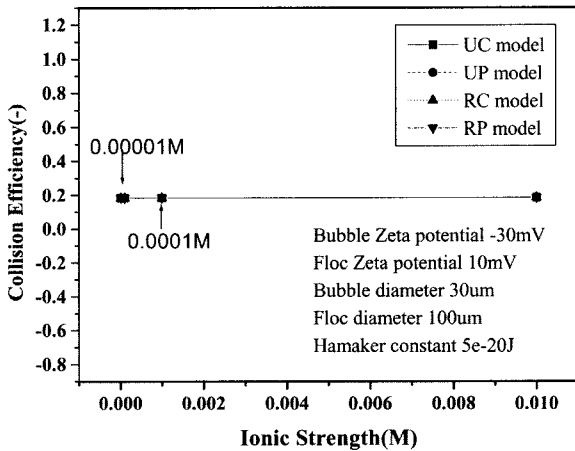
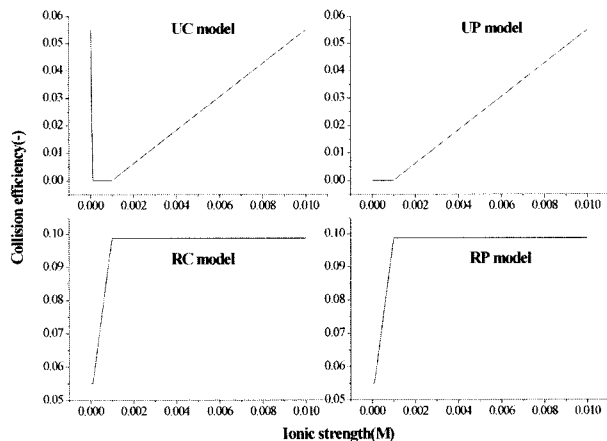


Fig. 7. Effect of ionic strength for large flocs.



Note) D_p 10um, D_b 30um, Hamaker C 5e-20J, ρ_f 1.02g/ ℓ , Z_p 10mV, Z_b -30mV

Fig. 8. Effect of ionic strength for small flocs.

그러나 Fig. 8에서와 같이 플록의 크기가 작아지면 이온화세기가 충돌효율에 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

4.2.4. 제타 전위

제타전위는 Fig. 9에서와 같이 모델 모두 50um이상의 플록에서 충돌효율에 미치는 영향은 거의 없다. 이는 유선함수에 있어서 플록이 클수록 수리동역학적 힘이 반데르발스 인력과 정전기력의 합력인 상호 작용력에 비해 충돌효율에 지배적 역할을 하기 때문일 것이다.

Fig. 10은 작은 플록에서 모델 모두 제타전위가 (-)전하의 조건에서 제타전위가 인력적으로 작용하는 공통점을 보이고 있다. 특히 정전기력을 적용하는 모델에 있어 일정 전위(constant potential) 모델들은 (-)의 제타전위에서 충돌효율이 오히려 상승하는 경향을 나타내는 반면, 일정 전하(constant charge) 모델에서 플록의 제타전위가 (+)전하에서 충돌효율이 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이와 같은 이유는 유선함수를 이용한 충돌효율은 우선적으로 플록의 크기가 지배를 하게 되고 이때 수리역학적 힘이 지배하게 되는 원인이다. 플록의 제타전위는 유선함수를 이용한 충돌효율에 있어 동전하 상태 즉 플록의 제타전위가 (-)의 값을

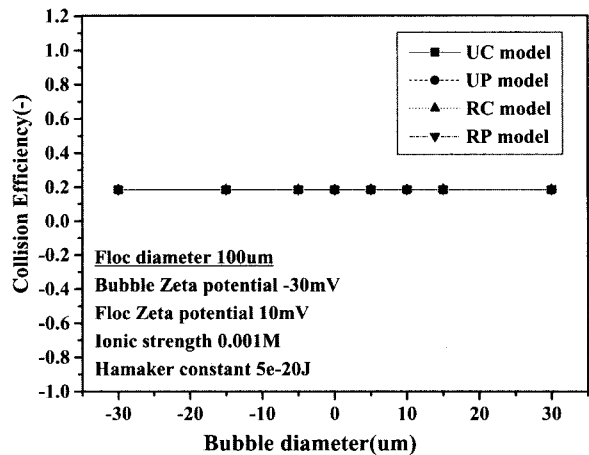


Fig. 9. Effect of Zeta potential in stream modeling.

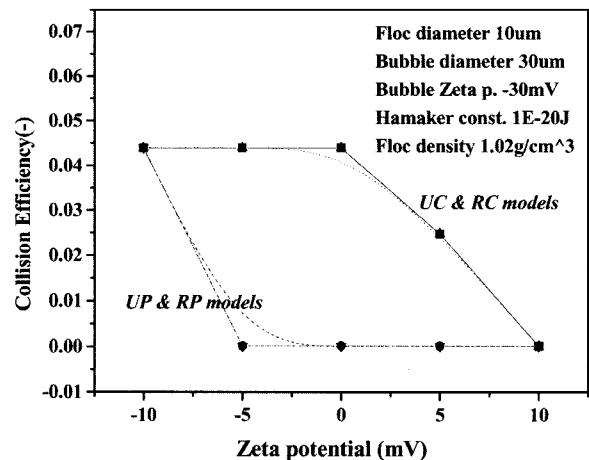


Fig. 10. Effect of Zeta potential for small floc size range in stream modeling.

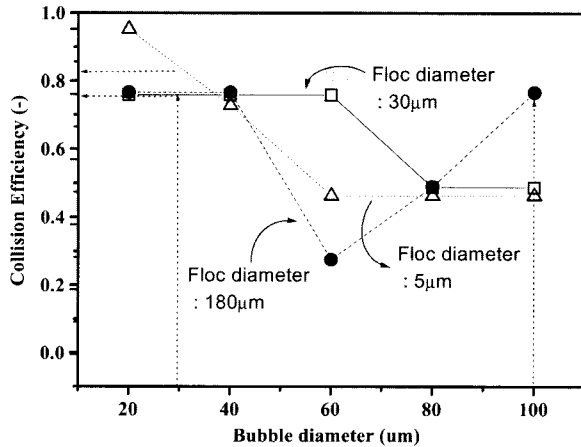
가질 때 정전기력이 인력적으로 작용하여 충돌효율이 높아진다.

4.3. 운동함수에 의한 모의실험

운동함수를 이용한 궤적분석을 통해 충돌효율을 예측함에 있어 충돌효율에 상호 작용력의 영향은 본 실험에서 비 지연(非遲延) 상태의 반데르발스 인력(unretarded van der Waals attraction force)을 사용하는 UP 모델을 중심으로 살펴보았다.

4.3.1. 기포와 플록의 크기

운동함수를 사용한 궤도분석을 통해 충돌효율을 모의한 결과 Fig. 11에서와 같이 플록의 크기에 따른 충돌효율은 플록과 기포의 크기가 거의 비슷할 때 높음을 알 수 있다.



Note) Floc Zeta potential +10mV, Bubble Zeta potential -30mV, Hamaker constant 5e-20J, Ionic strength 0.001M, Density 1.02kg/m³

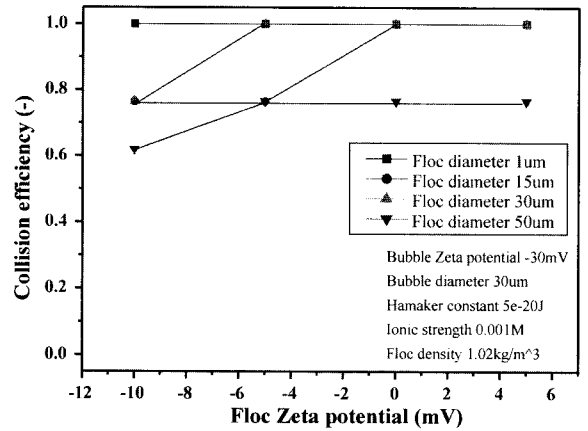
Fig. 11. Effect of bubble and floc size on collision efficiency in mobility modeling.

4.3.2. 제타 전위

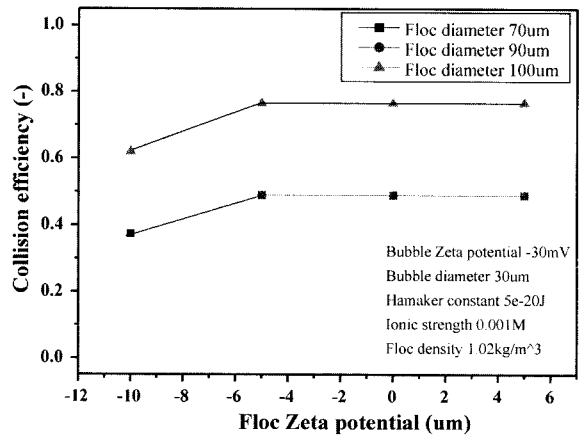
플록의 제타전위의 변화가 따른 충돌효율에 미치는 영향을 분석한 Fig. 12에서 제타전위가 (-)전하에서 (+)전하로 증가 할 경우 기포와 플록 상호간의 정전기적 인력에 의해 충돌효율이 상승하였다. 플록직경이 거대입경일 경우, 앞에서 살펴본 플록의 직경에 따른 충돌효율의 영향으로 플록의 크기의 영향으로 충돌효율이 상승하였다.

4.3.3. 이온화세기

이온화세기는 입자의 크기가 30um인 경우와 120um의 경우를 비교한 결과 이온화세기가 변화함에 따라 큰 차이가 없고 기포의 크기에 따른 플록의 크기에 의한 충돌효율의 영향이라고 판단된다. 이온화세기에 영향을 받지 않는 이유로는 입자의 상태일 경우는 정전기적 이중층의 감소에 이온화세기가 중요한 영향을 미치지만 일단 플록의 형태가 되면 미세기포와의 충돌공정에 영향이 거의 없음을 보여주고 있다. 이와 같은 결과는 운동함수의 경우도 마찬가지로의 결과를 가진다.



(a)



(b)

Fig. 12. Effect of Zeta potential on collision efficiency in mobility modeling.

4.4. 충돌효율과 DAF의 부상효율

4.4.1. 유선함수

앞에서 살펴본 얻는 변수들을 기초로 유선함수를 이용한 궤도분석을 통해 충돌효율을 예측한 결과를 Fig. 13에 나타내었다. UC 모델과 UP 모델이 충돌효율 결과 값이 같고, RP 모델과 RC 모델이 충돌효율 결과 값이 같았다.

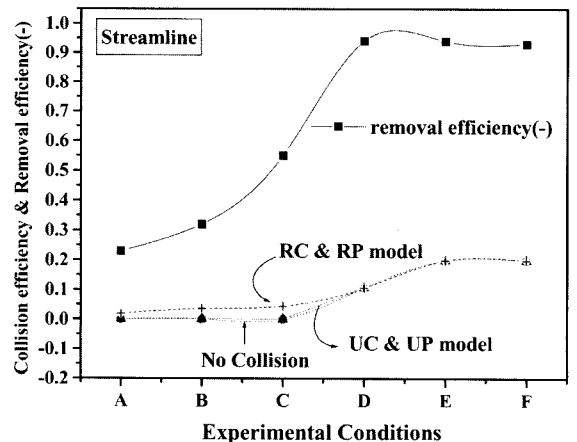


Fig. 13. Modeling results for collision and removal efficiency in stream modeling.

4.4.2. 운동함수

Fig. 14에서 같이 유선함수 궤적분석법과 마찬가지로 UC 모델과 UP 모델이 그리고, RP 모델과 RC 모델이 동일한 충돌효율을 나타내었다. RC 모델과 RP 모델은 일부 실험 조건에서 충돌이 발생하지 않는 결과를 나타내고 있다.

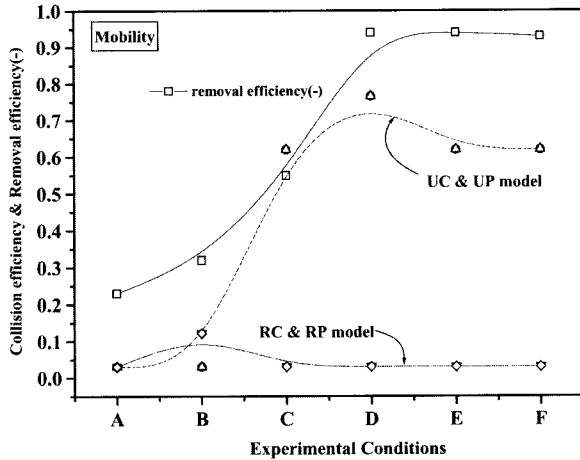


Fig. 14. Modeling results for collision and removal efficiency in mobility modeling.

4.4.3. 예측 및 실험결과의 비교

충돌효율이란 한 개의 기포와 한 개의 입자(플록)의 충돌 확률을 나타낸 것으로서 DAF공정에서는 미세기포가 bubble-cloud의 형태로 접촉조에 유입되기 때문에 접촉조에 유입되는 버블 수는 플록의 수백 배~수천 배 많이 유입된다. 또한 기타 유체의 흐름 등과 같은 여러 가지 변수 등을 고려한다면 충돌효율과 제거효율과의 반드시 일치하거나 비례할 수는 없다.

다음의 Fig. 15는 유선함수를 바탕으로 궤적분석을 통해 얻은 충돌효율을 Malley & Edzwald (1991)의 SCC모델에 적용하여 예측한 결과로 지연상태(retarded condition) 반데르발스 인력을 적용하였다.

예측과 실험값을 비교해보면, 두 결과가 전반적으로 일치하였다. Fig. 15에서 플록의 크기가 5um이하의 경우 즉 B,

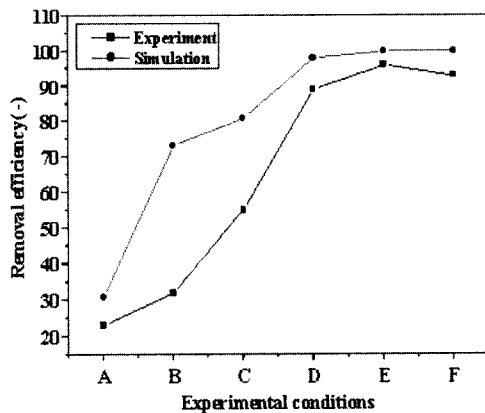


Fig. 15. Comparison between experimental values and predicted results by modeling in stream modeling.

C조건에서 실험결과와 다소 차이를 나타내나 이는 앞의 유선함수 모의실험에서 살펴 본 바와 같이 미세 플로의 조건에서의 충돌효율 저하에 의한 것이다.

4.5. 유선함수와 운동함수의 충돌효율 비교

동일한 조건에서 유선함수 모델과 운동함수 모델과의 충돌효율 값의 차이를 보이고 있다. 유선함수의 경우 유체 내에 입자가 이동하면서 입자의 정체점(stagnation point)에서 양쪽으로 유선을 형성하게 된다. 유선함수는 이와 같은 유선의 선속도로 인하여 수리동역학적 힘과 입자간의 상호작용력에 의해 입자의 충돌이 결정된다는 개념이며, 운동함수는 원거리의 경우 두 입자의 관성력과 중력에 의해서 발생된 속도에 의해 발생하는 수리동역학적 힘과 접근을 하게 되며 근거리(nearly touching field, $S < 2.015$)에서는 두 입자간의 정전기적인 힘과 반데르발스 인력의 상호작용력에 의해 충돌을 지배하는 개념이다.

이와 같은 개념의 차이로 Fig. 16에서 보는 바와 같이 같은 조건에서 충돌효율의 차이를 유발한다.

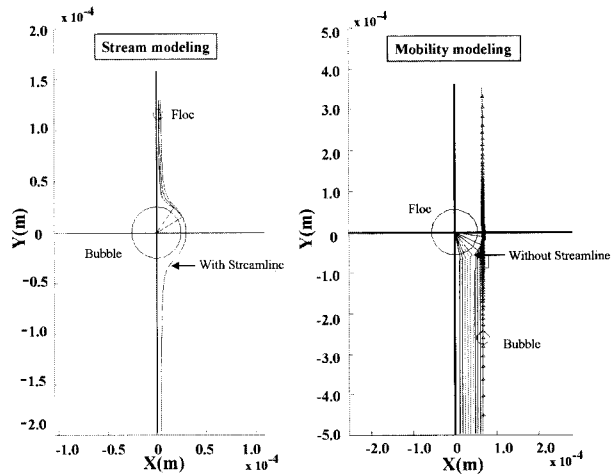


Fig. 16. Difference of collision efficiency between streamline and mobility modeling.

5. 결론

유선에 의한 충돌효율 예측모델은 과거 기포가 입자에 비해 상당히 클 경우의 부상공정에서 적용된 모델로서 현재의 DAF공정과 같은 미세기포를 사용하여 수중의 응집된 플록을 제거하는 공정은 플록에 비해 기포가 거의 같거나 작은 경우이기 때문에 이 모델에서 사용된 세부 조건의 적용여부를 재조명할 필요성이 있다. 본 연구는 유선함수와 운동함수 충돌효율 모델의 특징과 차이점에 대해 비교분석하고 4가지 서로 다른 정전기력과 반데르발스 힘의 공식을 적용하여 일련의 모의실험을 수행하였으며 연구결과 다음과 같은 몇 가지의 결론을 얻었다.

유선함수를 이용한 충돌효율 궤적분석 모델은 플록의 크기가 클수록 수리동역학적 힘이 상호작용력보다 상대적으로 증가하여 상호작용력이 충돌효율에 큰 영향을 미치는

특징을 가지고 있다. 이와 같은 이유로 DAF공정에서 플록의 크기가 50 μ m 이상으로 운전하므로 유선험수 모델을 적용하여 충돌효율을 예측할 경우 정전기적에너지 공식과 반데르발스 에너지공식을 어느 것을 사용하여도 충돌효율에는 큰 차이가 없었다.

유선험수의 궤적모델에서 도출된 충돌효율을 이용하여 제거효율을 모델링 결과, 실험결과와 유사한 처리효율을 나타내었으며 이로써 유선험수를 이용한 궤적분석이 DAF공정의 충돌효율 예측에 유용하였다.

운동함수 궤적모델은 유선험수 궤적모델에 비해 다소 복잡하지만 플록과 기포의 상호작용력을 잘 설명되는 장점이 있고, 운동함수의 모델링에서 실험에서의 제거효율과 비교한 결과 반데르 발스힘의 공식에 있어서 unretarded van der Walls공식을 적용한 모델이 플록의 제거특성을 잘 반영하였다.

한편, 유선험수를 이용한 궤적 모델링에서는 플록의 크기가 커짐에 따라 상호작용력의 충돌효율에 미치는 영향이 적은 특징을 가지는 반면 운동함수를 이용한 궤적 모델은 상호작용력은 플록과 기포의 크기와 함께 충돌효율을 산출하는데 민감한 요소로 작용하는 특징이 있었다.

운동함수를 이용한 궤적분석에 있어서 상호작용력이 충돌효율에 미치는 영향을 분석한 결과, 제타전위는 플록과 기포의 제타전위가 서로 다른 극일 때 충돌효율이 상승하고 플록의 크기가 거대플록일 경우 제타전위의 영향은 감소하고 플록크기의 영향이 상대적으로 증가하여 충돌효율이 상승하였다.

사 사

본 연구는 한국과학재단의 2004년도 목적기초연구사업(특정기초, R01-2004-000-11029-0)에 의하여 수행되었으며 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- 광동희, 김성진, 이화경, 정홍조, 이재욱, 정팔진, DAF 공정에서 무기 고형입자의 유체역학적 충돌효율과 부상특성, *상하수도학회지*, **16**(6), pp. 655-662 (2002).
- 광동희, 이재욱, 한무영, DAF공정에서의 개체군수지에 의한 무기성 입자거동의 해석, *상하수도학회지*, **17**(2) pp. 517-527 (2003).
- Han M.Y., Modeling of DAF:the effect of particle and bubble characteristics, *Journal of water Supply: Research and Technology-AQUA*, **51**(1), pp. 27-34 (2001).
- Han, M.Y., Dockko S., Zeta potential measurement of bubbles in DAF process and its effect in the removal efficiency, *Journal of Water Supply*, **34**, pp. 177-182 (1999).
- Jeffrey, D. J., Onishi, Y., Calculation of the Resistance and Mobility functions for Two unequal Rigid Spheres in Low Reynolds Number flow, *Journal of Fluid Mech.*, **139**, pp. 261-290 (1984).
- Leppinen, D. M., Trajectory analysis and collision efficiency during microbubble flotation, *Journal of Colloid and Interface Science*, **12**, pp. 431-442 (1999).
- Malley, J. P., Edzwald, J. K., Conceptual Model for Dissolved-Air Flotation in Drinking Water Treatment, *Journal of Water SRT-AQUA*, **40**(1), pp. 7-17 (1991).
- Malley, J. P., Removal of organic halide precursors by dissolved-air flotation in conventional water treatment, *J. of Environmental Technology*, **11**, pp. 1161-1167 (1990).
- Tambo, N. and Fukushi, K., A kinetic study of dissolved-air flotation, *Journal of JWWA*, **606**, pp. 22-30 (1985).
- Yoon, R. H., Luttrell, G. H., Mineral Process, *Extract. Metall. Rev.*, **5**, p. 101 (1989).
- Yotsumoto, J., Yoon, R. H., Application of Extended DLVO Theory, *Journal of Colloid Interface Sci.*, **57**, pp. 426-441 (1993).