

점토와 조류입자의 제타전위가 부상분리 효율에 미치는 영향

Effect of Zeta Potential of Clay and Algae Particles on Flotation Efficiency

최도영¹ · 김성진³ · 정흥조¹ · 이세일¹ · 백도현² · 이재욱¹ · 곽동희^{1,*}

Choi, Do-Young¹ · Kim, Seong-Jin³ · Jung, Heung-Jo¹ · Lee, Se-Il¹ · Paik, Do-Hyeon² ·
Lee, Jae-Wook¹ · Kwak, Dong-Heui^{1,*}

1 서남대학교 환경화학공학과

2 서남대학교 보건환경학과

3 여수한영대학 보건환경학과

(2005년 4월 8일 접수, 2005년 7월 4일 최종논문 채택)

Abstract

Zeta potential is a key parameter of double layer repulsion for individual particles and can usually be used to interpret the trend of coagulation efficiency. This study focused on the measurement of zeta potential of algae and clay under various experimental conditions including water characteristics (pure water, stream water, reservoir water) and coagulant dose (10~50 mg/L). Results showed that the variation of zeta potential was highly sensitive depending on the water characteristics and coagulation conditions. Zeta potential of two genera of algae (*Anabaena* sp. and *Microcystis* sp.) were changed highly with coagulant dosage, especially. On the basis of trajectory analysis, bubble-floc collision efficiency simulated in terms of zeta potential was fitted well with removal efficiency of chlorophyll-a from algae particles. It was found that the control of zeta potential was important for effective removal of algae particles.

Key words: Zeta potential, dissolved air flotation, clay, algae, particle, bubble

주제어: 제타전위, 용존공기부상, 점토, 조류, 입자, 기포

1. 서론

북유럽을 중심으로 널리 적용되고 있는 부상분리의 일종인 용존공기 부상(dissolved-air flotation, DAF) 공정은 정수처리 system에서 최종 공정인 여과의 전 처리공정으로 기존의 침전공정을 대체할 수 있는 효

과적인 대안으로 부상하고 있으며 특히 저탁도, 부식질(humic substances) 또는 자연적인 색도나 조류 등을 함유한 원수의 처리에 유용한 공정으로 알려져 있다(Zabel, 1985).

한편, 우리나라에서는 수자원 확보를 위하여 건설된 많은 댐의 상수원 수질이 부영양화로 인한 조류발생으로 인하여 정수장에서 가벼운 조류입자의 제거에

*Corresponding author Tel: +82-63-620-0223, FAX: +82-63-620-0211, E-mail: kwak124@seonam.ac.kr (Kwak, D.-H.)

부담을 안고 있는 실정이다. 이 같은 당면한 과제로 인하여 국내에서도 DAF공정의 도입과 연구가 활발히 진행되고 있다(곽 등, 2002; 2003). 그러나 우리나라의 지형학적·수문학적 특성 때문에 강우기간에는 상수원에 무기성 고형입자가 다량 유입하게 되며 이에 따라 수질특성은 크게 두 가지로 대별된다. 즉, 평상시의 가벼운 조류입자와 강수시의 무거운 고형입자가 그것이며 우리나라에서는 이 두 가지의 상반된 특성을 갖는 입자를 효과적으로 제거해야하는 과제를 안고 있다(Kwak, et al., 2005).

본 연구에서는 우리나라의 두가지의 대별된 수질 특성을 고려하여 DAF(dissolved air flotation) 공정에 있어서, 다양한 조건에서 무기성 입자(clay)와 조류입자(*anabaena* sp. and *microcystis* sp.)의 제타전위의 변화를 살펴보고 이에 따라 부상분리효율에 그 제타전위가 어떻게 영향을 미치는지를 조사하였다. DAF 부상분리효율에의 영향은 일반적으로 알려진 DLVO 이론과 모델에 바탕을 두고 궤적분석을 실시하였으며 그 제타전위에 의한 부상효율의 변화와 영향을 예측 평가함으로써 조류입자와 무기성 점토입자의 제거를 효과적으로 달성할 연구정보를 제공하고자 하였다.

2. 궤적분석을 위한 이론적 배경

유체 내에서 두 입자의 충돌효율을 예측하기 위해서 궤적분석법(trjectory analysis method)가 이용된다. 궤적분석법은 유체 내의 두입자에 작용하는 수리동역학적 힘(hydrodynamic force)을 정량화하는 방법에 따라 크게 두 가지 방법으로 이론적인 발전을 하여 왔다. 먼저, 기포가 상승함에 따라 형성된 유선(streamline)에 입자가 침착하는 원리에 근거를 둔 방법으로, Yoon 등(1989)은 떠오르는 버블에 의해 형성된 유선을 따라 입자가 그 궤적을 정확히 따른다는 근거에 의해 스토크 흐름에서 충돌효율 $E_c = 3/2(a_2/a_1)^2$ 로 정량화하였으며, Okada 등(1990)등은 유체내에 기포의 크기가 입자의 크기보다 매우 큰 경우에 입자의 충돌에 있어 정전기적 상호작용력이 매우 큰 역할을 함을 보고하는데 이용되었다.

또 다른 궤적분석법은 Jeffery와 Onishi(1984)가 다양한 입자 크기와 크기비를 대상으로 두 입자의 수리동역학적 힘을 수학적으로 보정할 수 있는 이론적 근

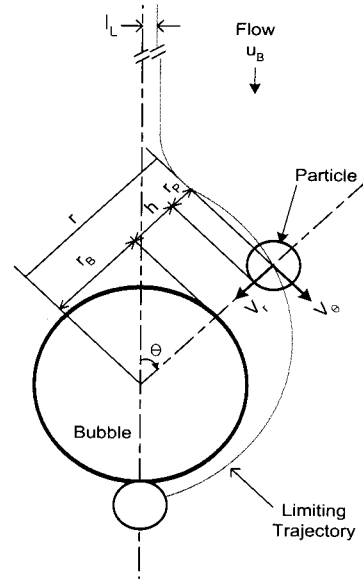


Fig. 1. Schematic of the coordinate system and trajectory of two spheres moving through a fluid.

거를 제시한 후 이를 바탕으로 최근 Han 등(2001)과 Leppien(1999) 등이 유체내에서 기포와 입자의 궤적 분석을 통한 충돌효율을 계산하였다. 본 연구에서는 Jeffery와 Onishi(1984)의 운동함수를 이용한 궤적분석법을 MATLAB program(version 7)을 이용하여 프로그래밍함으로써 충돌효율을 예측하였다.

Fig. 1은 부상공정에서 떠오르는 기포와 떨어지는 입자의 근접에 관한 모형도로서, 원거리에서 버블과 입자의 접근은 중력의 영향에 의해 수직적인 궤적을 형성하지만 근거리의 접근일수록 두 입자의 수평적인 힘을 조절하는 수리학적 힘에 지배를 받는다. Fig. 1에서 충돌효율은 아래 식 (1)과 같이 개념화 할 수 있다.

$$E_c = \frac{X_c}{(a_1 + a_2)} \quad [1]$$

여기서, a_1 는 기포반지름 a_2 는 입자반지름 그리고 $X = X_c$ 은 임계궤적의 수평전치를 나타내며 모든 입자는 수평전치가 $X < X_c$ 인 경우에 한하여 기포와 충돌을 하며 $X > X_c$ 경우는 충돌을 하지 않고 비껴 지나간다는 개념으로 두 입자의 반지름의 합을 반지름으로 하는 원의 면적에 대한 임계 수평이격거리(X_c)를 반지름으로 하는 원의 면적에 대한 비율로 정의된다.

낮은 레이놀즈 수에서 유체내에 침전하는 두 입자의 상대속도는 입자들에 작용하는 힘 즉 중력과 상호작용력과 같은 힘들에 달려있으며, 여기서 Batchelor(1982)는 아래 식 (2)와 같은 두 입자의 상대속도식을 제시하였다.

$$V_{12}(r) = \left[\frac{rr}{r^2} L(s, \lambda, \gamma) + \left(I - \frac{rr}{r^2} \right) M(s, \lambda, \gamma) \right] \cdot [2]$$

$$V_{12}^{(0)} - \frac{a_1 + a_2}{6\pi\mu a_1 a_2} \left[\frac{rr}{r^2} G(s, \lambda) + \left(I - \frac{rr}{r^2} \right) H(s, \lambda) \right] \cdot \nabla \Phi$$

여기서, $V_{12} = U_2 - U_1$. 두 입자사이에 상호작용력이 없는 경우에 초기 상대속도는 $V_{12}^{(0)} = U_2^{(0)} - U_1^{(0)}$ 로 산출되며, 여기서 $U_1^{(0)} = 2a_1^2(\rho_1 - \rho) \cdot g/9\mu$ 로 표현된다. a_i 는 두 입자의 반지름을 나타내고 ρ_i 는 밀도이고 μ 는 점도 g 는 중력을 나타낸다. 유체 속에 잠겨있는 두 구의 중심과 중심 사이의 벡터인 r 은 $|r| = r$ 로서 전치되고 I 는 이차텐서이다, 두 입자 사이의 상호작용력에 대한 전위는 방정식 (3)으로 나타내고, 운동함수 $L, M, G,$ and H 아래와 같다.

$$\begin{aligned} L(s, \lambda, \gamma) &= \frac{\lambda^2 \gamma A_{22} - A_{11}}{\lambda^2 \gamma - 1} + \frac{2(1 - \lambda^3 \gamma) A_{12}}{(1 + \lambda)(\lambda^2 \gamma - 1)} \\ M(s, \lambda, \gamma) &= \frac{\lambda^2 \gamma B_{22} - B_{11}}{\lambda^2 \gamma - 1} + \frac{2(1 - \lambda^3 \gamma) B_{12}}{(1 + \lambda)(\lambda^2 \gamma - 1)} \\ B(s, \lambda) &= \frac{\lambda A_{11} - A_{22}}{1 + \lambda} - \frac{4\lambda A_{12}}{(1 + \lambda)^2} \\ \text{and } H(s, \lambda) &= \frac{\lambda B_{11} - B_{22}}{1 + \lambda} - \frac{4\lambda B_{12}}{(1 + \lambda)^2} \end{aligned} \quad [3]$$

여기서, $s = 2r/(a_1 + a_2)$, $\lambda = a_2/a_1$ and $\gamma = (\rho - \rho_2)/(\rho - \rho_1)$. Jeffrey와 Onishi(1984)의 연구결과에 의하면, 함수 A_{ij} 과 B_{ij} 는 오로지 무차원 분리거리 $S = 2r/(r_B + r_p)$ 와 기포와 입자의 크기비 $\lambda = r_p/r_B$ 에 의존적이며 그의 연구에서 운동함수의 결정은 원거리의 접근에서는 유한연속 확장형의 형태로 결정하였으며, 근거리의 경우는 비대칭 근접 방식으로 결정하였다. 두 입자가 접근하면서 형성되는 radial과 tangential 속도는 아래 식 (4)와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} V_r &= \frac{ds}{dt} = -\cos\theta L(s, \lambda) V_{12} - \frac{D_{12}}{KT} G(s, \lambda) \nabla \Phi_{12} \\ \text{and } V_\theta &= s \frac{d\theta}{dt} = M(s, \lambda) \sin\theta V_{12} \end{aligned} \quad [4]$$

$$\text{Where } D_{12} = \frac{KT}{6\pi\mu} \left(\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} \right)$$

이 상대속도 항들은 조합하여 아래 식 (5)와 같은 지배방정식을 산출할 수 있으며, 이 지배방정식으로 부터 궤적분석을 통해 충돌효율을 산출할 수 있다.

$$\frac{dr}{d\theta} = s \frac{V_r}{V_\theta} = \frac{-\cos\theta L(s, \lambda) V_{12} - \frac{D_{12}}{KT} G(s, \lambda) \nabla \Phi_{12}}{M(s, \lambda) \sin\theta V_{12}} \quad [5]$$

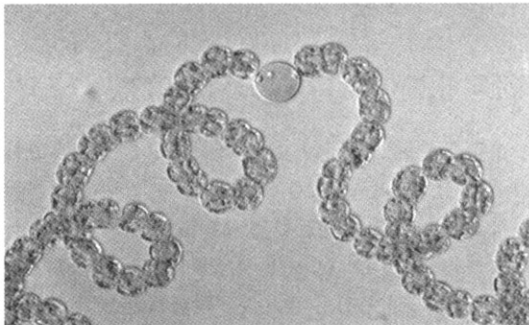
충돌효율을 계산하기 위한 궤적분석은 수리동력학적력과 상호작용력으로부터 달성할 수 있으며 수리동력학적력은 위에서 언급한 상대속도로부터 산출되고, 상호작용력은 DLVO이론에 근거를 둔다. 즉 $\Phi = \Phi_{VDW} + \Phi_{ELEC}$, 여기서 Φ_{VDW} 는 반데르발스 전위(van der Waals potential)이고 Φ_{ELEC} 는 정전기적 전위(electrostatic potential)이다. 반데르발스 전위와 전기 이중층에 관한 토의는 Hunter(1987)와 Elimelech 등(1995)의 연구에서 자세히 다루고 있으며, 이 연구에서 van der Waals potential(Φ)은 아래 식 (7)과 같이 Ho 등(1968)의 공식을 인용하였다.

$$\begin{aligned} p < 1, \Phi_{VDW} &= -\frac{A\lambda}{3(1 + \lambda)^2(s - 2)(1 + 1.7692p)} \\ p \geq 1, \Phi_{VDW} &= -\frac{A\lambda}{3(1 + \lambda)^2(s - 2)} \\ &\quad \left(\frac{2.45}{5p} - \frac{2.17}{15p^2} + \frac{0.59}{35p^3} \right) \end{aligned} \quad [6]$$

여기서 $p = 2\pi(s - 2)/v$ 이고 A 는 Hamaker 상수로서 Russel 등(1989)에 의하면 일반적으로 E^{-19} 에서 E^{-21} 정도를 적용한다. 정전기적 전위(Φ)은 전기이중층 겹침(thin overlapping double layers)에 관한 것으로서 일정전위 정전기적 전위(the constant potentials)가 약하거나 중간정도의 세기인 50mV 이하에서 매우 정확한 것으로 알려져 있다.

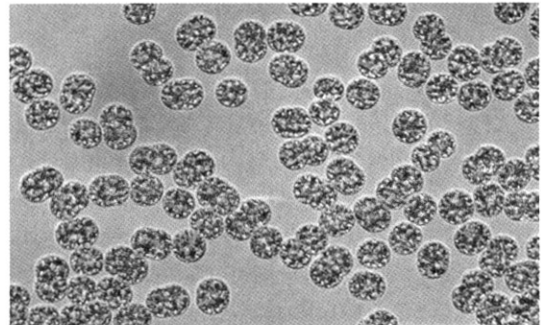
Table 1. Water quality of source water and chemical composition of clay

Discription	Stream water (Yochon)	Reservoir water (Kyungchon)	Chemical composition of clay wt (%)			
pH	6.7 - 7.3	6.7 - 7.3	Al ₂ O ₃	23.14	TiO ₂	0.57
BOD	1.8 - 2.2	1.5 - 1.8	CaO	2.97	Loss of ignition	0.27
COD	1.8 - 2.2	1.5 - 1.8	Fe ₂ O ₃	3.92		
SS	2.5 - 3.5	2.0 - 2.0	K ₂ O	1.75		
DO	9.5 - 10.0	9.5 - 10.5	MgO	1.23		
Turbidity (NTU)	3.0 - 5.0	2.5 - 4.0	Na ₂ O	1.22		
Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)	22 - 35	25 - 38	P ₂ O ₅	0.04		
Conductivity (μS/cm)	150 - 20	120 - 180	SiO ₂	62.72		



(a) *Anabaena flos-aquae*

(a) *Anabaena flos-aquae*



(b) *Microcystis aeruginosa*

(b) *Microcystis aeruginosa*

Fig. 2. SEM photos of algae; (a) anabaena, (b) microcystis.

$$\Phi_{ELEC} = \frac{\epsilon a_1 a_2}{4(a_1 - a_2)} \left[2\zeta_1 \zeta_2 \ln \left(\frac{1 + e^{-kb}}{1 - e^{-kb}} \right) + (\zeta_1^2 + \zeta_2^2) \ln(1 - e^{-2kb}) \right] \quad [7]$$

여기서, $b = r - a_1 - a_2$ 이고 k 는 역(inverse) 전기이중층 두께를 나타내며 이 이중층은 유체 주변의 이온강도가 증가할수록 얇아진다.

3. 재료 및 방법

본 실험에 사용되는 대상 시료는 Table 1과 같이 다양한 수원(source water)에 무기성 고�형입자를 대신하여 clay를 넣고 조류는 실내에서 두가지의 조류종을 배양하여 필요한 양만큼 원수에 주입하여 실험을 실시하였다. 다음의 Fig. 2에는 본 실험에 사용한 두가지의 조류종 *Anabaena flos-aquae*와 *Microcystis aeruginosa*를 각각 보여주고 있다. 제타전위는 측정기기 Photal

Otsuka ELS-8000(Japan)을 사용하였으며 기타 수질 분석은 수질오염공정시험법에 의거 실시하였다.

본 연구에서는 회분식 DAF 부상분리 실험장치를 제작하여 실험을 실시하였다. 다음의 Fig. 3에 나타난 것처럼 DAF 운전조건을 일정하게 유지하기 위하여 자동조정장치를 통하여 항상 동일하게 운전되도록 하였다. 아울러 수처리과정에서의 플록의 물성변화를 최소화하기 위하여 DAF 부상분리용 컬럼에서 직접 시료를 인출하여 바로 제타전위 등이 측정될 수 있도록 부상분리 장치의 설비들을 구성하였다. 원수의 응집에는 폴리염화알루미늄과 NaOH를 사용하였으며 응집제 주입율의 결정은 사전 Jar Tester를 이용하여 결정후 실험에 임하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1. 입자의 초기 제타전위

입자의 제타전위는 주변 수질화학적 환경에 영향

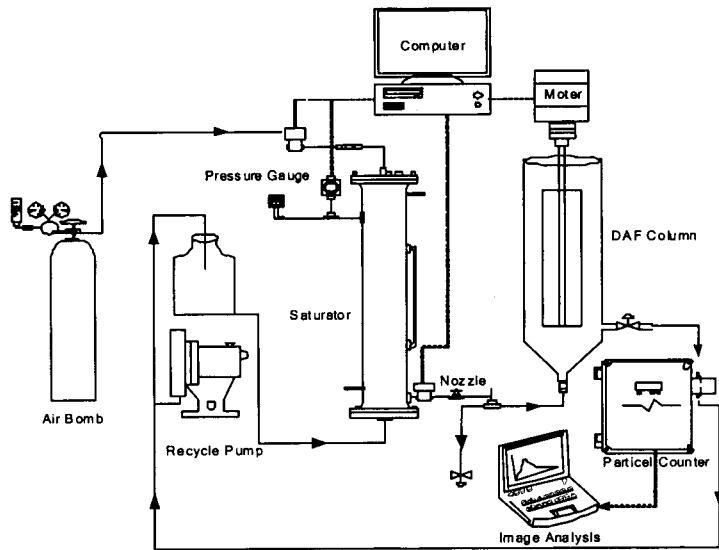


Fig. 3. Schematic diagram of pilot plant for DAF aeration and sludge recycle.

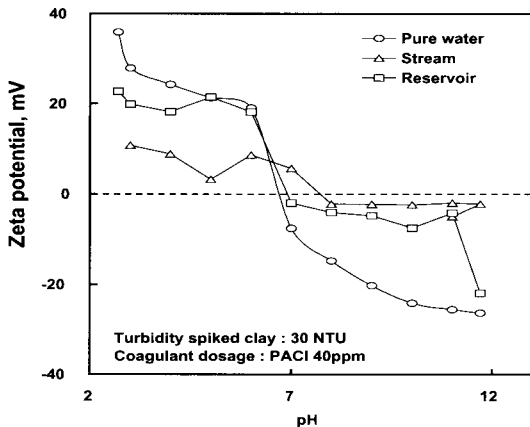


Fig. 4. Variation of zeta potential of clay depending on water characteristics.

을 받아 그 특성이 결정된다. 본 연구에서는 점토입자와 조류입자에 대하여 수원이 다른 상황에서 제타전위가 어떻게 변화하는 지를 살펴보았다. 제타전위는 통상 그 값의 변동이 심하므로 제타전위 측정값은 5~10회 반복하여 그 평균치를 이용하였다.

다음의 Fig. 4에 나타난 바와 같이 점토의 제타전위는 수원에 따라 다소 다르게 나타났으며 순수에서는 pH에 따라 변화폭이 크고 하천수에서는 그 변화폭이 가장 작게 나타났다.

그러나, 앞에서 살펴본 원수의 수질특성에 따른 제타전위의 변화는 본 연구에서 적용한 원수가 하천수

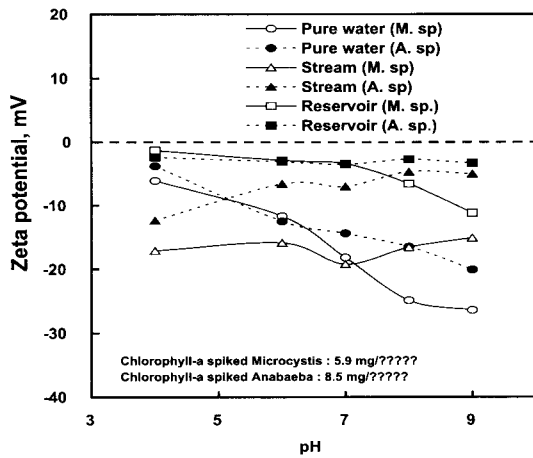
로는 전북 남원시 소재의 요천, 호소수는 전북 완주군 소재의 경천호로 한정된 실험결과로써 일반적인 국내 하천수와 호소수를 대표한다고 할 수는 없는 바, 원수 수질특성에 따른 제타전위의 변화는 추후보다 많은 시료와 다양한 원수 수질특성을 고려한 후속연구가 필요하다.

Fig. 5에는 조류입자 *Microcystis aeruginosa*, *Anabaena flos-aquae* 각각에 대한 제타전위값을 나타내고 있다. 이 제타전위값은 응집제를 투입하지 않은 초기 값으로, 조류 자체의 제타전위는 넓은 분포를 나타내었으나 Fig. 5의 (b)와 같이 점토와 공존하는 상태에서는 그 분포폭이 줄었으며 pH의 증가에 따라 감소하는 일정한 양상을 띠었다. 한편, 다음 실험에서는 이 기본적인 조류와 점토 입자의 제타를 토대로 응집제를 투입한 경우 제타전위의 변화를 더 살펴보았다.

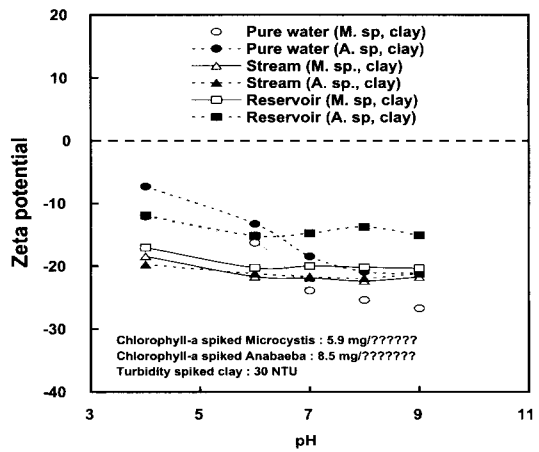
4. 2. 처리과정에서의 제타전위 변화

원수에 함유되어 상수도시설로 유입되는 조류와 점토입자는 입자제거를 위한 처리공정별 환경조건의 변화로 그 값이 달라지게 된다. 먼저 혼화지와 플록형성지에서의 교반에 의한 제타전위의 변화 정도를 살펴보기 위하여 교반강도와 교반시간에 따른 입자의 제타전위값의 변화를 측정하였다.

다음의 Fig. 6과 같이 교반강도에 따라 점토입자의 제타전위는 크게 변동되지 않으며 정수처리 현장에서



(a) Algae particle, only



(b) Mixture of clay and algae

Fig. 5. Variation of zeta potential of algae depending on water characteristics.

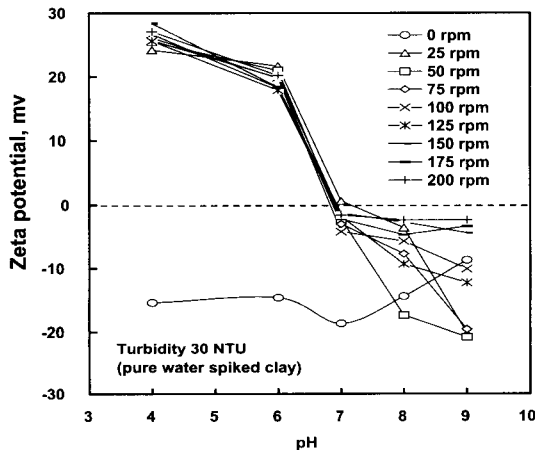


Fig. 6. Variation of zeta potential of clay particle in terms of mixing intensity.

적용되는 pH 6-7 영역에서의 제타전위는 크게 변화하지 않았다. 그러나 pH 7을 초과한 영역에서부터는 제타전위의 변동폭이 다소 증가하는 경향을 나타내었다. 혼화 및 플록형성의 완속과 급속교반에 있어서 교반 시간에 따른 제타전위값을 살펴보았다. Fig. 7에서와 같이 역시 급속 및 완속 교반시간에 따른 점토입자의 제타전위값의 변화는 교반강도의 실험결과처럼 크지 않았으나 pH 7을 초과한 영역에서는 제타전위의 변동폭이 증가하였다.

본 실험결과를 고려할 때, 국내 상수원수의 pH는 통상 중성영역에서 크게 벗어나지 않으나 조류가 번

식하는 시기에는 원수 pH가 7을 초과하여 pH 8-9로 상승하는 경우도 있는 바, 이 같은 수질상태를 나타내는 시기에는 뒤에서 기술한 응집제투입율과 더불어 응집강도와 응집시간 등 다양한 처리변수를 고려한 조류입자의 제타전위 조절이 필요할 것으로 예상된다.

정수처리과정에서 주입되는 응집제는 입자의 제타전위에 매우 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 본 실험에서는 응집제 주입율별로 변화되는 입자의 제타전위를 살펴보았다. 먼저 순수에서의 점토입자의 경우는 다음의 Fig. 8과 같이 pH 전 영역에서 유사한 제타전위의 변화경향을 나타내었다. 그러나 실제 상수 원수(호소수)에서는 점토입자와 조류 입자 모두 응집제의 주입율에 따라 다소 큰 폭으로 제타전위가 변동하였다. 특히 정수처리 현장에서 적용되는 pH 6-7 영역에서 응집제 투입율별 제타전위의 변화폭은 교반강도와 교반시간 등의 물리적 인자에 비하여 매우 크게 나타났다. 조류입자는 점토입자에 비하여 pH에 따른 제타전위의 변화는 불안정한 패턴을 보였다 (Figs. 8-9).

4.3. 제타전위에 따른 기포-플록 충돌효율과 제거율

기포와 플록의 충돌효율에 있어서 제타전위의 영향은 중요한 변수중의 하나이다. 본 연구에서 충돌효율을 계산하기 위한 궤적분석은 기존 문헌에서 언급되고 있는 수리동력학적 힘은 앞에서 언급한 상대속

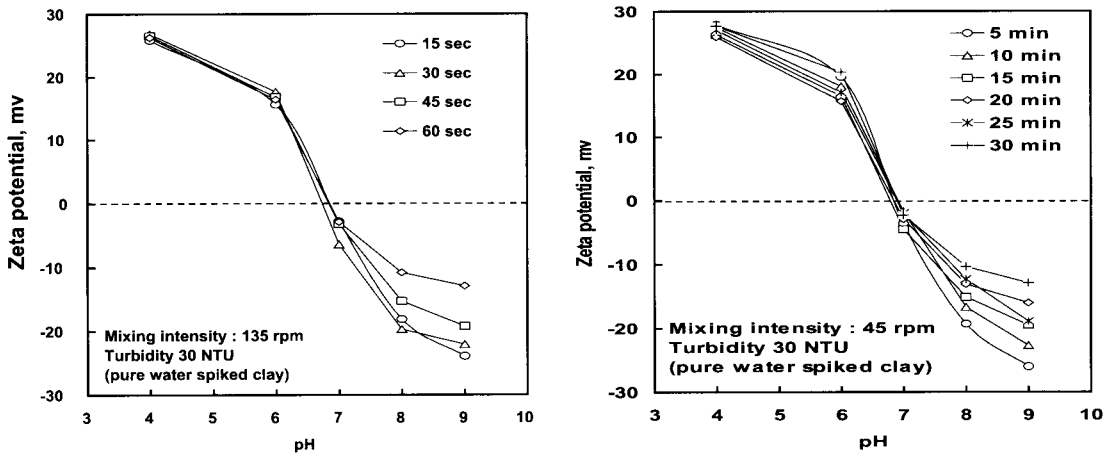


Fig. 7. Variation of zeta potential of clay particle in terms of mixing time.

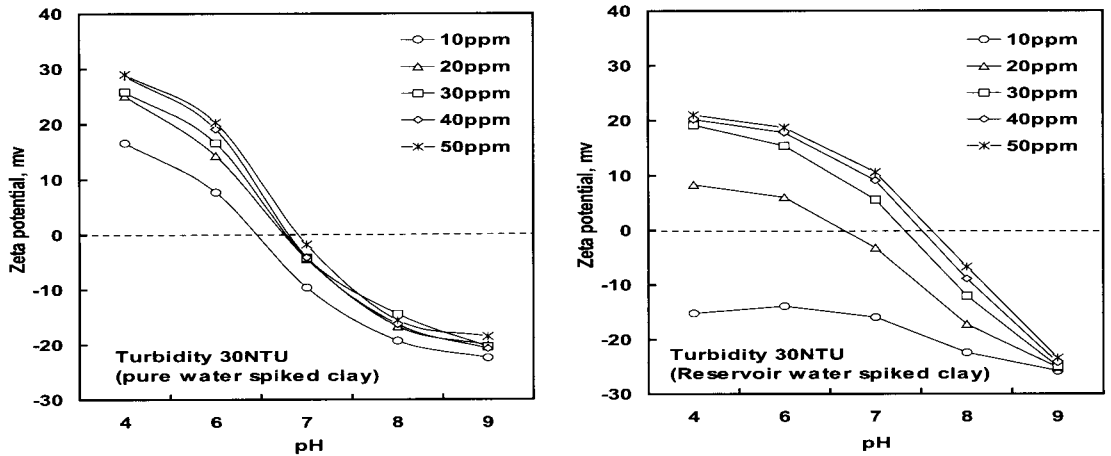


Fig. 8. Variation of zeta potential of clay particle in terms of coagulant dosage.

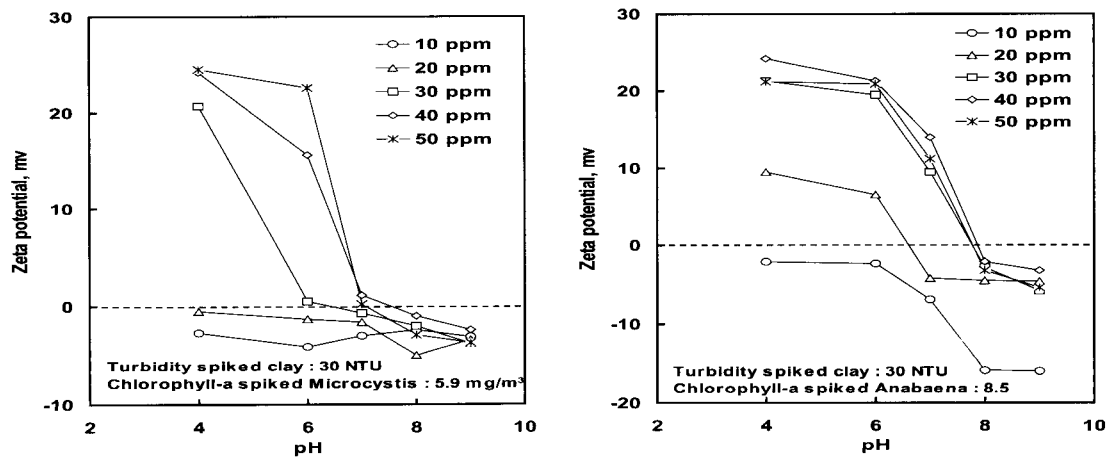


Fig. 9. Variation of zeta potential of algae particle in terms of coagulant dosage (reservoir).

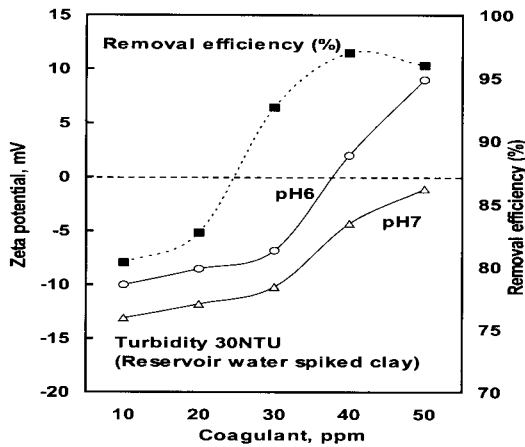


Fig. 10. Removal efficiency of turbidity depending on coagulant dosage.

도로부터 산출하여 적용하고, 상호작용력은 DLVO 이론에 기초를 두고 실시하였다.

먼저, 제타전위의 측정조건과 동일한 실험조건에서 실시한 DAF 실험결과를 토대로 제거율을 살펴보았다. 점토가 투여된 원수 탁도의 제거율은 pH 6에서 등전점을 초과한 영역에서 약 95% 이상을 달성하였다. 한편, 조류와 점토가 공존하는 조건에서, 점토에 기초한 탁도의 제거율은 상대적으로 안정된 제거율을 나타낸 반면, 조류입자의 경우 *Anabaena flos-aquae*와 *Microcystis aeruginosa* 모두 응집제 주입율의 변화에 따라 클로로필-a의 제거효율이 크게 변동하였다(Fig. 11). 이 클로로필-a의 제거율 변동은 앞에서 살펴본 조류입자(*Anabaena flos-aquae*, *Microcystis aeruginosa*)의

제타전위가 응집제 주입율에 따라 큰 폭으로 변화된 사실과 상관성이 있을 것으로 판단되어, 계적분석을 실시하여 고찰하였다.

앞에서 살펴본 바와 같이, 점토와 조류입자의 제타전위의 변화가 DAF공정의 효율과 상당한 관련이 있을 것으로 판단되어, DLVO이론에 기초하여 계적분석을 통하여 기포와 플록의 충돌효율을 예측하였다. 제타전위에 따라 변화되는 기포-플록간의 충돌효율의 예측값과 실제 제타전위의 측정 및 DAF실험을 통하여 얻어진 실측값을 비교하여 본 결과, 다음의 Fig. 12와 같이 상호 유사한 경향을 볼 수 있었으며 *Microcystis aeruginosa*의 조류입자는 제타전위의 변화에 따라 예측값과 매우 흡사한 효율변화를 나타내었다. 여기서, 앞에서 살펴본 바와 같이 조류입자는 응집제 주입율과 같은 외부 조건에 따라 제타전위가 민감하게 변화하였으며, 이 결과에 근거하여 제타전위의 변화에 따라 나타나는 기포-플록간 충돌효율이 DAF 효율 변화에 잘 반영되고 있는 것으로 여겨진다.

결국, 정수처리과정에서 효과적인 조류입자의 제거에 있어서 입자의 제타전위 조절이 중요한 변수이며, 이를 통하여 DAF공정에서는 응집제 주입율과 같이 제타전위에 큰 영향을 미치는 운전인자는 보다 섬세한 조작이 요구된다.

5. 결 론

국내의 두 가지의 대별된 수질특성을 고려하여 DAF 공정에 있어서, 점토 입자와 조류입자의 제타전

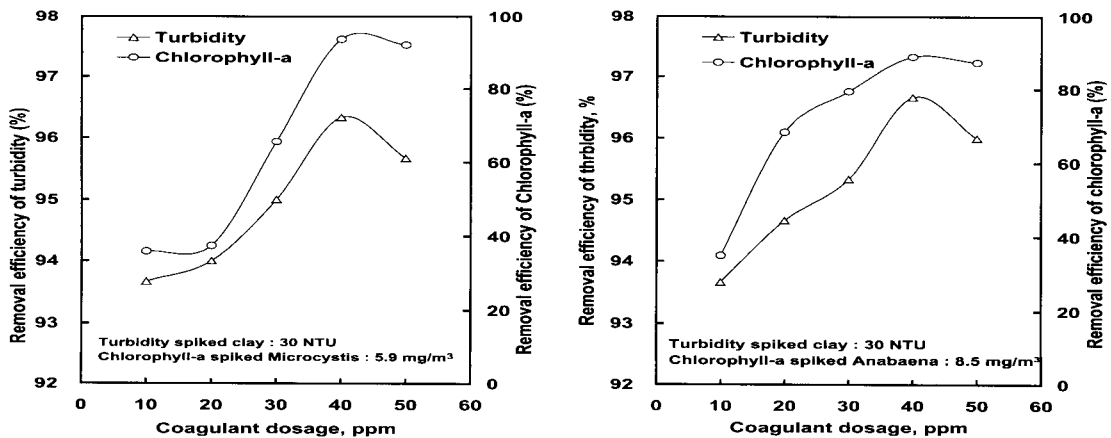


Fig. 11. Removal efficiency of chlorophyll-a depending on coagulant dosage.

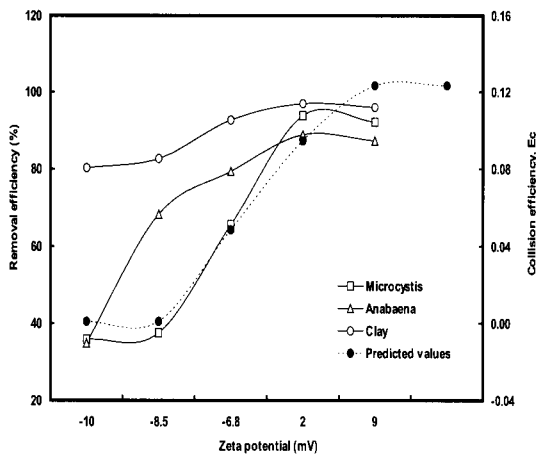


Fig. 12. Comparison between predicted values and observed values in terms of zeta potential.

위의 변화를 살펴보고 이에 따라 부상분리효율에 그 제타전위가 어떻게 영향을 미치는지를 조사하였다.

점토와 조류입자의 제타전위는 응집제 주입률에 따라 크게 변화하였고, 조류입자는 상대적으로 더욱 민감하였다. 마찬가지로 탁도와 클로로필-a 등의 제거효율 실험결과, 제타전위의 변화가 심한 조류입자로부터 유발된 클로로필-a의 제거효율 변화폭이 컸다. 아울러, DLVO이론에 기초한 궤적분석을 통하여 살펴본 기포와 플록의 충돌효율은 입자의 제거율과 유사한 경향을 나타내었으며 특히, *Microcystis aeruginosa*의 조류입자는 제타전위의 변화에 따라 충돌효율 예측값과 매우 흡사한 효율변화를 나타내었다.

정수처리과정에서 효과적인 조류입자의 제거에 있어서 입자의 제타전위 조절이 중요한 변수이며, 이를 통하여 DAF공정에서는 응집제 주입율과 같이 제타전위에 큰 영향을 미치는 운전인자는 보다 섬세한 조작이 요구됨을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 목적기초연구사업(2004

년도 특정기초연구, No. R01-2004-000-11029-0)에 의하여 수행되었으며 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- 광동희, 김성진, 이화경, 이재욱, 정홍조, 정팔진 (2002), DAF공정에서 무기고형입자의 유체역학적 충돌효율과 부상특성, *상하수도학회지*, **16**(6), pp.517-527.
- 광동희, 이재욱, 한무영 (2003), DAF공정에서의 개체군수지에 의한 무기성 입자거동의 해석, *상하수도학회지*, **17**(2), pp.517-527.
- Ceronio, A.D. and Haarhoff, J. (2005), An improvement on the power law for the description of particle size distributions in potable water treatment, *Water Research*, **39**, pp. 305-313.
- Elimelech, D., Gregory, J., Jia, X., and Williams, R. (1995), *Particle Deposition & Aggregation: Measurements, Modelling and Simulation*, Butterworth Heinemann, Oxford.
- Fukushi, K., Tambo, N., Matsui, Y. (1995), A kinetic model for dissolved air flotation in water and wastewater treatment. *Wat. Sci. Tech.*, **31**(3-4), pp. 37-47.
- Hunter, R.J. (1987), *Foundations of Colloid Science. Volume I*, Oxford University Press, Oxford.
- Jeffrey, D.J., and Onishi, Y.J. (1984), *Fluid. Mech.* **139**, p. 261.
- Kwak, D.H. (1997), Cause of Flotation and Application of DAF Process in Water Treatment Plant. Chonbuk National University, Doctorial Thesis.
- Kwak, D.-H. and Chung, P.-G. (1998), Cause of float in conventional water treatment plant, proceedings of 19th IAWQ conference on water quality, Vancouver, Canada.
- Kwak, D.-H., Jung, H.-J., Kim, S.-J., Lee, J.-W. (2005), Separation Characteristics of Inorganic Particles from Rainfalls in Dissolved Air Flotation: A Korean Perspective, *Journal of Separation Science and Technology* (under review).
- Russel, W.B., Saville, D.A., and Schowalter, W.R. (1989), *Colloidal Dispersions*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Yoon, R. H., and Luttrell, G. H. (1989), *Mineral Process. Extract. Metall. Rev.* **5**, p. 101.
- Zabel, T. (1985), The Advantages of Dissolved-Air Flotation for Water Treatment, *Journal of AWWA*, **77**(5), pp.42-45.