

DAF 공정에서 발생한 슬러지의 Break-up 원인과 부상 특성

Cause of Break-up and Flotation Characteristics for Sludge from DAF Process

유영훈¹ · 문용택² · 김성진³ · 이광준⁴ · 곽동희^{4*}

Young-Hoon Yoo¹ · Yong-Taik Moon² · Seong-Jin Kim³ · Kwang-Joon Lee⁴ · Dong-Heui Kwak^{4*}

1 전북대학교 환경공학과, 2 한국수자원공사 수자원연구원, 3 한영대학 보건환경학과, 4 서남대학교 공학부

(2010년 8월 13일 접수 ; 2010년 10월 6일 수정 ; 2010년 2010년 10월 8일 채택)

Abstract

Although the bubble-floc agglomerate floated and formed the float layer on the surface of the water in the DAF process, after inducing in the thickening tank a part of the bubble-floc agglomerate come up again to the surface and the other is settled at the bottom of the tank. The bubble-floc agglomerate divided into two group as the scum on the surface and the sludge of the bottom gives rise to operational troubles for the thickening process.

In order to find out the cause of break-up and the effective thickening method for sludge from the DAF process, the composition of the bubble-floc agglomerate was investigated and a series of flotation experiments carried out. There was no difference of composition between the scum on the surface and the sludge of the bottom in the thickening tank. The coagulation was not effective to improve the trouble that the bubble-floc agglomerate divided into the scum and the sludge. It was estimated that for the bubble-floc agglomerate of thickening tank the trouble was caused by not the change or the difference of chemical composition but whether the bubble-floc agglomerate hold bubbles. Furthermore, for the effective thickening of sludge from the DAF process, it is required an additional flotation applied the AS ratio depending upon the solid concentration of sludge as the operation parameter.

Key words : DAF, Thickening, Break-up, Bubble, Flotation

주제어 : 용존공기부상, 농축, 탈리, 기포, 부상

1. 서론

상수도시설에서 원수중의 조류나 가벼운 비중의 입자를 분리 제거하는 처리공정으로서 DAF(Dissolved Air Flotation) 공정의 유용성이 오래 전부터 알려져 왔으며 (Bare, et al., 1975; Johnson, et al., 1977) 조류발생 정

도가 큰 원수를 정수처리하고 있는 국내 상수도시설에 부상 공정을 도입한 사례가 증가하고 있다(Kwak et al., 2005). 호소수를 원수로 사용하고 있는 200,000 m³/d 규모의 D 정수장(전라남도 소재)에서도 저비중 입자의 효과적인 처리를 위하여 DAF 공정을 도입하여 운영해오고 있다.

한편, DAF 공정의 대표적 효과의 하나로써 공정에서 발

* Corresponding author Tel:+82-63-620-0223, Fax:+82-63-620-0211, E-mail: kwak124@hanmail.net(Kwak, D.)

생된 부상슬러지는 고형물농도가 3%정도로 침전공정의 슬러지보다 높으며 탈수성도 좋아 처리와 처분이 용이한 것으로 알려져 있다(Edzwald, *et al.*, 1992). 그러나 이 D 정수장의 DAF 공정에서 발생하는 부상슬러지(스컴 또는 플로트라고도 칭함)는 부상분리식 농축조가 아닌 중력 침전식 농축조로 설계되어져 있으며, 예비침전지와 여과지에서 배출된 슬러지와는 분리되어 별도로 설치된 DAF 부상슬러지의 전용 농축조에서 처리되고 있다.

DAF 공정에서 발생하는 부상슬러지는 기포와 결합되어져 있어 침전지나 여과지로부터 배출되는 슬러지와는 다른 특성을 가지고 있으며 특히, 부상슬러지를 침전시키고자 할 때에는 DAF 공정의 처리에서 기포와 입자간의 결합과는 정반대의 기포-입자간 탈리(break-up) 단계가 필요하게 된다. 부상슬러지의 기포-플록 응집체(bubble-floc agglomerates)의 효과적인 기포-입자간 break-up을 유도하기 위해서는 부상슬러지의 특성을 고려하여 수리학적 난류나 강제적 기계교반과 같은 외부 전단력이 가해지는 처리 조치가 요구되며, 이 break-up이 적절히 수행되지 않으면 부상슬러지의 침전농축이 원만히 진행되지 않을 것이다. 실제 D 정수장에서는 부상슬러지의 침전 농축효율이 낮은 운전관리상 어려움을 유발하고 있으며 이는 기포-플록 응집체의 break-up조작이 효과적으로 수행되고 있지 못하고 있음을 의심케 한다.

수중에 존재하는 입자나 floc간의 결합력이 감소 또는 상실되면 입자간, floc간에 break-up이 발생한다(Matsuo and Unno, 1981). 부유하는 floc입자의 break-up은 주로 floc과 외부 수체(surrounding water)간의 물리적 성질의 차이에서 비롯된다. 즉, 비중, 압축율(compressibility), 변형율(deformability) 등에 의한 차이가 break-up을 유발한다. 이외에도 관성(inertia), 정압(hydrostatic pressure), 그리고 표면장도(surface stresses) 등이 있다.

이 중 break-up의 대표적 인자는 비중으로서, 비중차에 근거한 힘에 대하여 Parker 등(1972)은 입자와 외부 수체간의 상대적 운동차이에서 기인된 힘을 조사하였고 이를 다음의 식 1과 같이 입자기준의 상대속도 관계를 표현한 Techen's 입자운동식이 발표되었다.

$$\rho_p V_p \frac{du_p}{dt} = k_t \rho_w S_p v^2 + \rho_w V_p \frac{du_\lambda}{dt} + \frac{1}{2} \rho_w V_p \left(\frac{du_\lambda}{dt} - \frac{du_p}{dt} \right) + Fe \dots \quad (1)$$

(I) (II)

(IV) (V)

여기서, ρ_p : 입자밀도, ρ_w : 액체의 밀도,
 S_p : 입자의 단면적,

V_p : 입자체적, u_p : 입자유속,
 u_λ : 입자영역에서의 액체유속 등이다.

윗 식 1의 (I)은 액체의 drag 저항, (II)는 상응되는 부력(buoyant force), (III)은 겉보기 질량(apparent mass)의 가속에 요구되는 힘, (IV)는 중력에 관한 것이다. 또한, 난류속도(eddy velocity)와 연관된 것으로 입자를 기준으로 한 액체의 상대속도는 $v = u_\lambda - u_p$, 난류마찰 factor는 k_t , 그리고 Fe 는 외부의 힘을 나타낸다. 이를 간소화시키면 입자를 기준으로 한 액체의 상대유속은 다음 식 2와 같이 표현된다.

$$v = \frac{[(\rho_p - \rho_w) V_p]^{1/2} u_\lambda}{[(\rho_p + \frac{1}{2} \rho_w) V_p + k_t \rho_w S_p \lambda]^{1/2}} \quad (2)$$

여기서, λ : 입경에 따른 길이이다.

한편, Thomas(1964)와 Argaman 등(1970)은 floc의 표면이 break-up의 주요 원인이라고 판단하고 가설적인 floc break-up model을 제안하였다. 이는 floc의 분열하려는 경향에 대한 저항력은 입자의 가표면장력(pseudo-surface tension)으로 규정하였다.

실제 운전에서는 float의 과도한 체류 때문에 break-up이 발생되며, 고색도의 원수처리에서는 표면축적이 시작된 30분 이후 float가 break-up되기 시작하였고 반면, 오래 정체되어 조류를 함유한 호소수의 처리에서는 float가 안정되어 24시간이 초과되어도 float의 break-up이나 처리수질의 악화는 없었다고 보고하였다(Zabel, 1985). 이러한 운전실태를 고려할 때 원수의 수질특성에 따라 float의 break-up이 달라짐을 알 수 있다.

본 연구에서는 DAF 공정을 채택한 정수처리공정에서 부상슬러지의 처리가 효과적으로 이루어지지 못하는 현실적 과제 해결을 위하여 부상슬러지의 특성을 살펴보고 이에 따라 보다 합리적이고 효율적으로 부상슬러지를 처리할 수 있는 방안을 살펴보고자 하였다. 한편, 국내에서 정수처리공정 설계시 DAF 공정에 대한 연구와 각종 문헌자료는 일정 부분 뒷받침되어져 있으나 DAF 공정에서 유출되는 부상슬러지의 농축에 대한 연구는 매우 빈약하다.

2. 재료 및 방법

2.1 대상 시설의 현황

본 실험에서 시료로 사용한 슬러지는 DAF 공정으로 건설된 D 정수장에서 채취하였으며, D 정수장은 예비침전지 및 DAF Float에서 발생된 슬러지를 농축조 분배조에 유입,

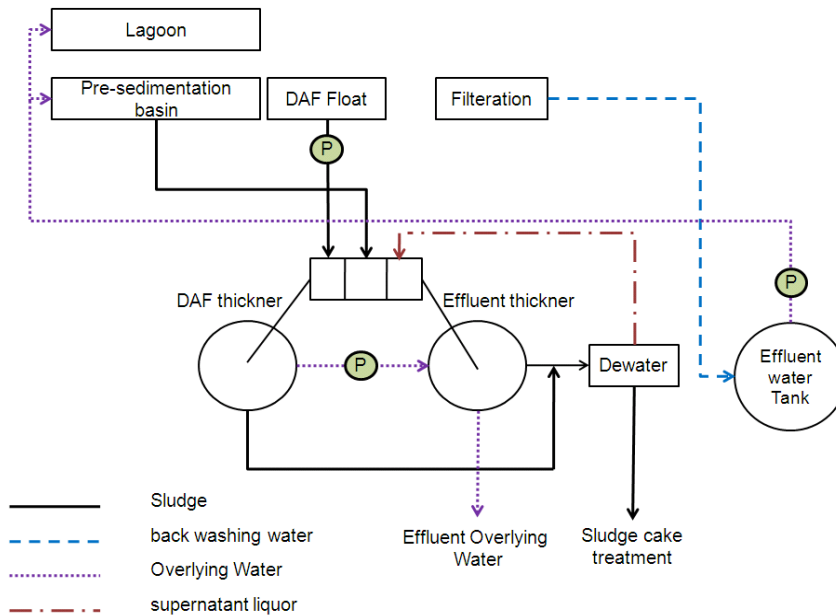


Fig. 1. Schematic diagram of flow sheet for DAF float treatment processes in D WTP.

농축조에서 상징수는 배출수지로 회수, 하층부의 슬러지는 필터프레스 방식의 탈수기를 통하여 처리하고, 탈수기에서 발생된 탈리액은 배출수지로 이송 후 처리하는 시스템으로 구성되어 있다. DAF 공정에서 발생하는 슬러지는 별도의 DAF 농축조에 유입되고 예비침전지에서 발생된 슬러지 및 탈수기에서 발생된 탈리액은 방류 농축조에 유입시켜 중력 침강 후 처리되고 있다. 여기서 DAF 농축조는 DAF 공정에서 발생한 슬러지를 중력 침전시키는 농축조로써 DAF 장치가 설치된 부상식 농축조로 설치되어 있는 것은 아니다.

현재 D 정수장의 DAF 농축조 상층부는 일부의 DAF 슬러지가 부상층을 형성하고 있으며, 저층부는 슬러지가 침전되어 있고 이 부상층과 침전층의 중간에 위치한 물을 펌프로 이송하여 방류 농축조에 유출시키고 있다. 이 DAF 슬러지는 DAF 농축조에서 전량 침전되지 않고 일부가 부상되어 효과적인 슬러지 처리에 다소의 어려움을 안고 있는 상황이다.

2.2 시료 및 실험장치

본 연구에서는 D 정수장에서 발생한 부상슬러지 시료를 채취하여 실내에서 회분식 DAF 부상분리 장치를 이용하여 일련의 실험을 실시하였다. 본 연구에서 DAF 공정에서 발생한 플로트가 농축조로 유입되는 슬러지 시료를 채취하여 일정시간 정치시킨 후, 부상층(floated layer)에서 채취한 시료는 '부상슬러지'로, 침전층(settled layer)에서 채취한

시료는 '침전슬러지'로 구분하였다. 아울러 초기 슬러지 시료를 정치시키지 않았거나, 정치시킨 후 부상슬러지와 침전슬러지를 혼합한 시료는 '혼합슬러지'로 칭하였다.

실험장치는 다음의 Fig. 2에 나타난 것처럼 모든 조건을 동일하게 적용하도록 하여 실험오차를 줄일 수 있도록 타이머와 교반장치에 제어설비를 부착하여 구성하였다. 미세 기포를 주입하는 공기의 양도 동일하도록 compressor를 사용하지 않고 일반 공기бом베(air bomb)를 활용하였다. 한편, 실험과정에서 Jar test와 같이 별도의 부상실험을 위해서 compressor를 사용하여 saturator를 인위적으로 수동 조작하고 슬러지에 대한 부상분리를 실시하였다.

2.3 운전 방법

실험장치의 운전은 특별히 처리실험에서 명시하지 않을 경우 saturator의 압력은 유입측을 기준으로 $5.0 \pm 0.5 \text{ kg/cm}^2$, 순환율 10~20%에서 본 DAF pilot plant를 운전하는 것을 원칙으로 하였다. 이는 기포체적농도로서 2,315~4,630 ppm의 범위를 나타낸다. 본 실험장치(pilot plant)에 사용될 약품은 통상 정수처리에 사용되는 응집제와 알칼리제를 적용하였으며 응집제로는 폴리염화알루미늄(PACl, poly-aluminium chloride)을 사용하였고, 응집에 요구되는 알칼리도의 보충을 위하여 수산화나트륨(NaOH)을 사용하였다. 아울러, 급속 혼합과 완속 교반이 요구되므로 속도경사(velocity gradient, G)값을 만족할 수 있는 급속 혼

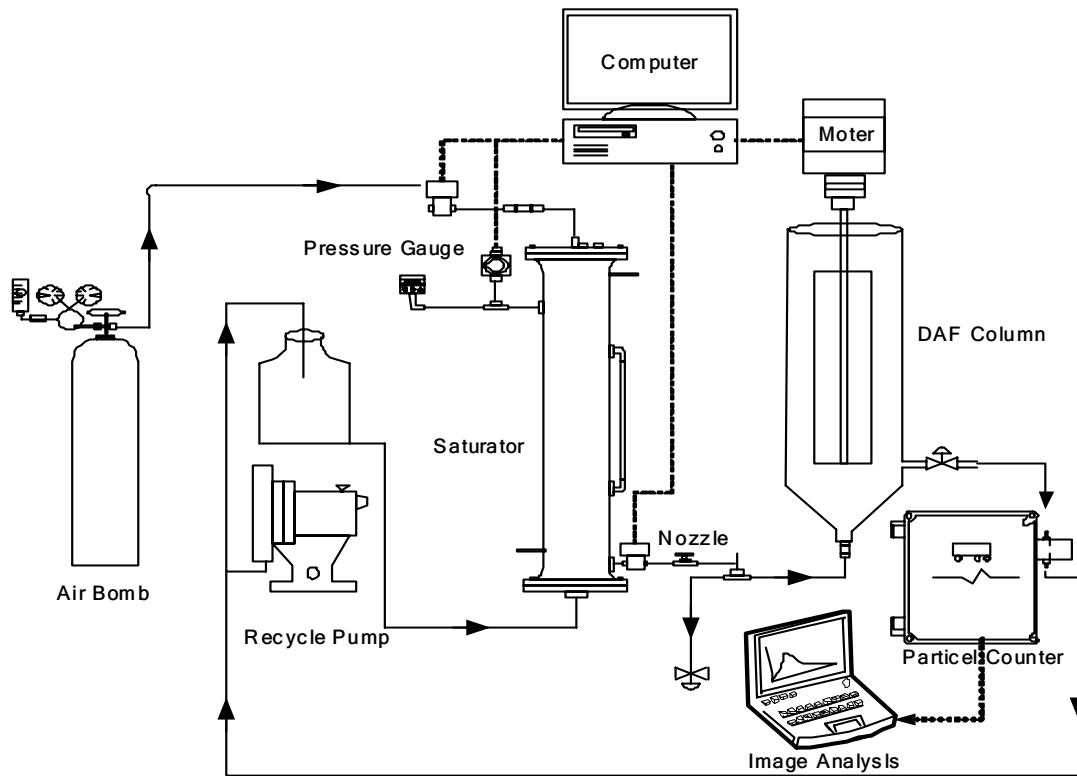


Fig. 2. Schematic diagram of batchwise DAF pilot plant.

화기와 완속 교반기를 조에 설치하여 운전기간 중에 일정한 상태로 운전될 수 있도록 하여 실제 정수처리 현장과 그 조건을 최대한 동일할 수 있게 하였다. 실험과정에서 break-up은 표면으로 부상한 기포-플록 응집체가 파괴되어 유출되는 처리수의 탁도가 상승되는 것으로써 탁도계 또는 육안으로 확인하였다.

3. 결과 및 고찰

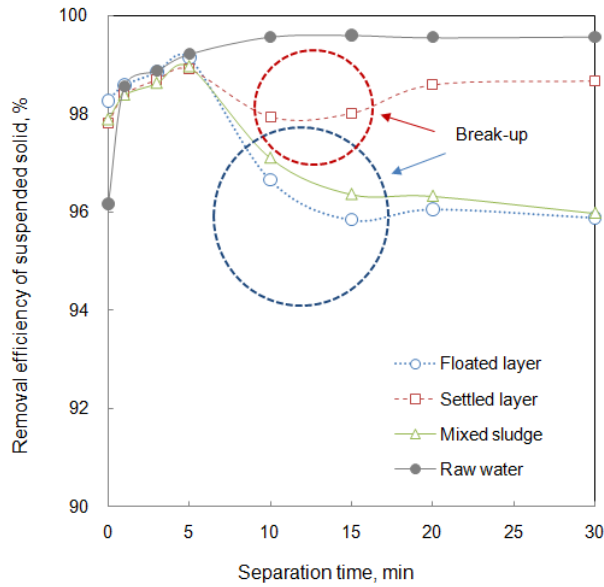
3.1 기포-플록간 결합력 변화와 Break-up

DAF 공정에서 발생하는 슬러지가 농축조로 유입되게 되면 기포-플록 응집체가 슬러지의 이송과정에서 수리학적 전단력이나 외부 영향으로 인하여 결합이 쉽게 파괴된다. 한번 파괴된 기포-플록 응집체는 다시 기포를 주입시켜 기초와 플록간 결합을 유도하여야 다시 응집체로 형성되어 부상하게 된다. 그런데 이 과정에서 초기 수처리 상태의 응집 및 결합 조건과 고형물의 성상이 달라져 기포와 고형물간 결합력도 차이를 나타낼 수 있다는 전제에서 다음 실험을 실시하였다.

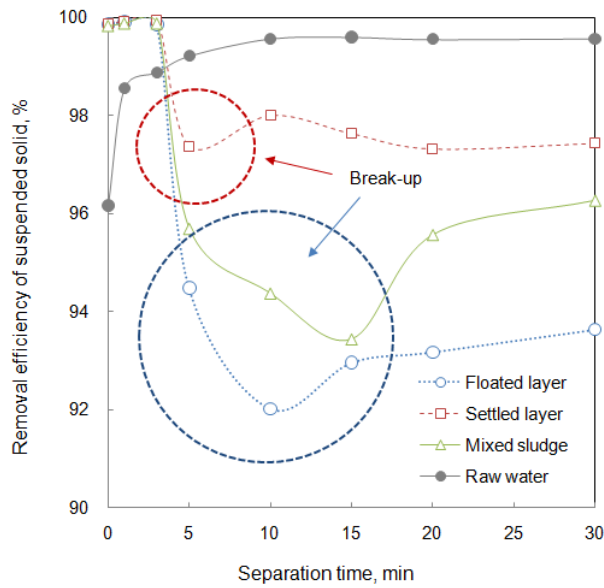
실험에서는 DAF 공정에서 발생된 슬러지가 DAF 농축

조로 유입된 후, 기포와 플록간의 결합력 변화에 따른 break-up 여부를 파악하고자 하였다. 정수처리과정에서의 DAF 공정에서의 기포-플록 응집체가 농축조로 이송된 후 기포-플록간 결합력의 변화가 나타나는지를 확인하기 위하여 부상분리 비교실험을 실시하였다. 여기서는 정수장 원수와, 농축조로 이송된 후 DAF 농축조의 부상슬러지, 침전슬러지 그리고 혼합된 슬러지를 각각 부상분리 하여 그 결과를 비교하였으며 응집제를 주입하지 않은 경우와 응집 처리한 경우에 대해서도 부상분리 효율을 비교하였다. 본 실험에서는 적절한 응집을 유도하기 위하여 응집제를 충분히 주입하였고 이후 정치 시간에는 상부에서 매우 낮은 값의 완속교반(15rpm)을 실시하여 기포와 플록간의 결합성을 파악하였고 유출되는 부유고형물 농도를 확인하여 break-up되는 양을 확인하였다.

실험 결과 다음의 Fig. 3에 나타난 것처럼, 원수중의 입자는 DAF 공정에서 일단 한번 부상되어 플리트층을 형성하게 되면 외부 전단력 없이 그대로 정치되는 상태에서는 거의 break-up되지 않았다. 그러나 DAF 농축조에서 채취한 시료의 경우 모두 break-up되는 현상을 확인하였으며, break-up 현상이 나타나는 정치시간은 약간의 차이가 있



(a) Without coagulation



(b) With coagulation

Operation condition) Saturator pressure: 5.0 atm, AVC: 11,575 ppm, PACl dose: 400 mg/L.

Fig 3. Removal efficiency of suspended solids and break-up of bubble-floc agglomerates.

었다. 응집을 실시하지 않은 경우가 break-up 시간이 약 10분경과 후에 나타났으며 응집시킨 시료는 이보다 다소 빠른 5분경과 후에 break-up 현상을 보였다. 응집시킨 경우는 보다 고형물 분리효율이 좋아 처리수의 부유물질 농도가 낮아 깨끗하였으나 break-up은 오히려 빨리 나타났다.

3.2 DAF 슬러지의 성상 및 특성 변화

DAF공정에서 발생하여 농축조로 유입되는 슬러지의 성상을 분석하였다. 통상 유입원수의 고형물 입자중 조류입자와 같은 유기성 고형물은 부상경향을 가지며, 이와 반대로 강우에 의해 유입되는 실트나 모래입자는 침강경향이 강한

Table 1. Composition change by before and after flotation thickening for three types of sludges.

Description	TS (mg/L)	VS (mg/L)	FS (mg/L)	Organic fraction.	
Raw sludge	6.54	3.32	3.22	0.508	
Before	Floated layer	5.77	2.95	2.82	0.511
	Settled layer	6.52	3.31	3.21	0.508
After	Floated layer	6.90	3.50	3.40	0.507
	Settled layer	6.20	3.17	3.03	0.511

Note) Operation condition of flotation: Saturator pressure 5.0 atm. Air volume Conc. 11,575 ppm.

것으로 알려져 있다(Kwak, et al, 2009).

본 절에서는 먼저 D 정수장의 DAF 농축조의 여러 지점에서 채취한 슬러지 시료를 대상으로 그 입자가 조류와 같은 유기물로부터 유래된 것인지 아니면 점토입자와 같은 무기물 입자인지를 확인하기 위하여 유/무기성 고형분 농도를 조사하였다. DAF 공정에서 발생한 플로트가 농축조로 유입되는 슬러지 시료를 채취하여 일정시간 정지시킨 후, 자체 부상층(floated layer)과 침전층(settled layer)을 분리 채취하여 그 성상의 차이를 확인하였다. 아울러 이 슬러지를 부상처리한 후 그 성상의 변화도 살펴보았다.

다음의 Table 1은 D 정수장 DAF 농축조의 부상 슬러지층과 침전 슬러지층에서 각각 채취한 슬러지에 대하여 그

기초 성상을 분석한 것이다. 분석결과, 유기성분 함량에서 부상층과 침전층간 큰 차이를 찾아볼 수 없었다. 또한, 이 부상된 슬러지와 침전된 슬러지를 기포를 주입하여 부상 농축시킨 후의 성분 변화를 살펴보았다. 분석결과를 보면, 부상된 슬러지는 VS가 미소하게 감소되고 FS는 약간 증가한 반면, 침전된 슬러지는 VS가 미소하게 증가하고 FS는 약간 감소하였다. 그러나 이 수치는 무시할 정도로 작은 값이며 결국 부상된 슬러지와 침전된 슬러지간 성상의 차이는 발견할 수 없었다.

다음으로 DAF 공정에서 발생한 기포-플록 응집체가 DAF 농축조로 이송되면서 기포와 플록간 결합력의 변화가 발생하였는지를 확인하기 위하여 응집체(bubble-floc

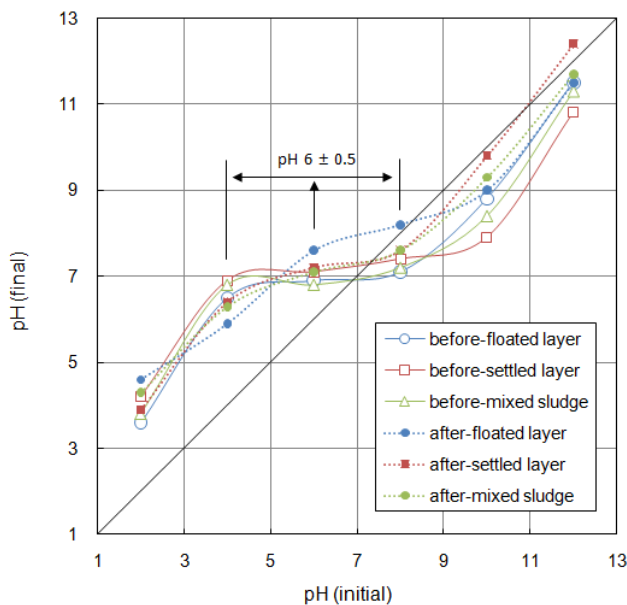
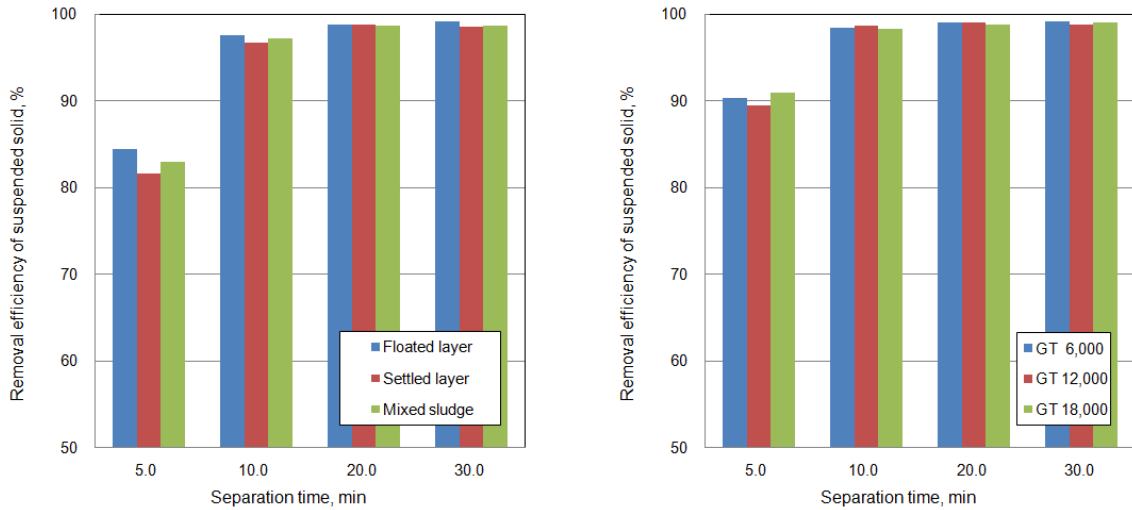


Fig 4. pH change with stepwise initial pH of particles for various types of sludge samples.



(a) comparison for three types of sludge samples (b) comparison depending on sheaf force of mixer

Fig 5. Comparison of flotation efficiency in terms of separation time(Saturator pressure: 5.0 atm., AVC: 5,788 ppm).

agglomerate)를 형성하는 플록입자의 등전점(isoelectric point)을 한국산업표준 KS L 1616:2002에 따라 측정하였다. 이 등전점은 제타전위(Doccko, et al, 1999; Han, 2001)와 같은 입자의 표면 물성을 확인하는 데에 유용한 도구로 사용되어 진다(Regalbuto, et al., 1999; Schreier and Regalbuto, 2004). DAF 농축조의 부상된 슬러지층, 침전된 슬러지층에서 각각 채취한 시료와 이 두 가지가 혼합된 슬러지에 대하여 입자의 등전점을 측정한 결과 다음의 Fig.4와 같이 대부분의 시료에서 등전점이 pH 6 부근에서 형성되고 있으므로 미루어 볼 때, 입자의 기포와 입자간 결합에 영향을 미치는 표면특성이 크게 변화되지 아니하였음을 알 수 있다.

다음은 앞에서 살펴본 입자의 기본 성분이나 기포-플록 간 결합력에 차이가 없음을 확인한 결과를 토대로 실제 부상분리에서도 이와 같은 결과를 나타내는지 확인실험을 실시하였다. 이 실험에서는 3.1절의 실험결과에서 원수 입자는 break-up 현상이 없었지만 농축조의 슬러지는 break-up된 것을 감안하여, 실험에 사용된 시료의 부상분리가 용이하게 나타나도록 하기 위하여 일정비율(100배) 희석하여 사용하였다. 실험은 DAF 농축조의 부상슬러지와 침전슬러지 그리고 혼합슬러지에 대하여 분리시간에 따른 부상효율을 비교하였고, 다음으로 원수를 부상분리하고 여기서 형성된 플록(부상슬러지)에 기계적 전단력을 가하여 강제로 기포-플록 응집체를 파괴한 슬러지 시료에 대한 부상 효율을 살펴보았다. 이 실험은 DAF 공정에서 농축조로의 배출 이송과정의 기계적-수리학적 전단력에 의한 물리

적 특성변화 가능성을 확인하기 위하여 수행된 것이다. 실험 결과 다음의 Fig. 5(a)에서 볼 수 있듯이 100배 희석한 부상슬러지와 침전슬러지 그리고 혼합된 슬러지에 대한 부상분리 효율에서 큰 차이를 발견할 수 없었다. 부상분리 초기 미소한 차이가 나타났으나 분리시간이 경과됨에 따라 차이는 감소되어 대동소이한 분리효율을 나타내었다. 다음으로 식(2)에서의 상대유속을 초과하여 나타나는 전단력에 의한 영향을 살펴보았다. 실제 배출 이송과정의 전단력 대신 Jar tester를 이용하여 기계적 전단력을 달리한 교반 강도의 변화에 따른 실험에서도 다음의 Fig. 5(b)에 나타난 바와 같이 부상효율이 큰 차이를 보이지 않았다.

3.3 슬러지 입자의 부상분리

앞에서 DAF 공정에서의 기포-플록 응집체와 농축조로 배출 이송된 이후의 슬러지 입자간 이화학적 성상과 결합특성이 큰 차이를 보이지 않음을 확인하였다. 본 절에서는 원수중에 함유된 입자의 농도와 농축조에서 채취한 슬러지의 농도 차이가 매우 큰 사실을 감안하여 입자의 농도에 따른 부상분리 효율과 특성을 살펴보았다. 다음은 DAF 농축조에서 채취한 슬러지의 고형물 농도에 따라 나타나는 부상효율을 확인하였다. 다음의 Fig. 6에 나타난 바와 같이 슬러지의 부유물질 농도에 따라 다소 다른 부상효율을 나타내었으며 부유물질 농도가 약 10,000 mg/L를 초과하면서부터는 부상효율이 크게 감소하는 것을 볼 수 있다.

이상의 실험결과로 미루어 볼 때, DAF 공정에서 발생된 슬러지가 일부 break-up되어 농축에 어려움을 유발하는

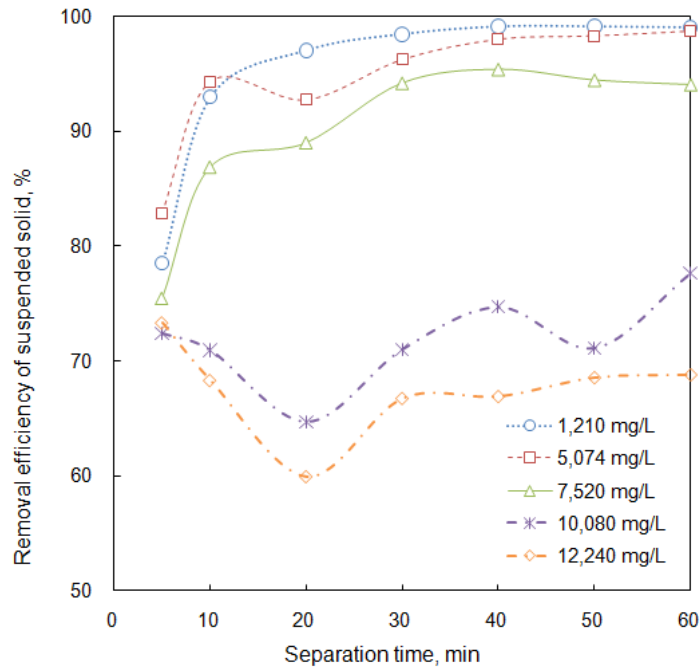
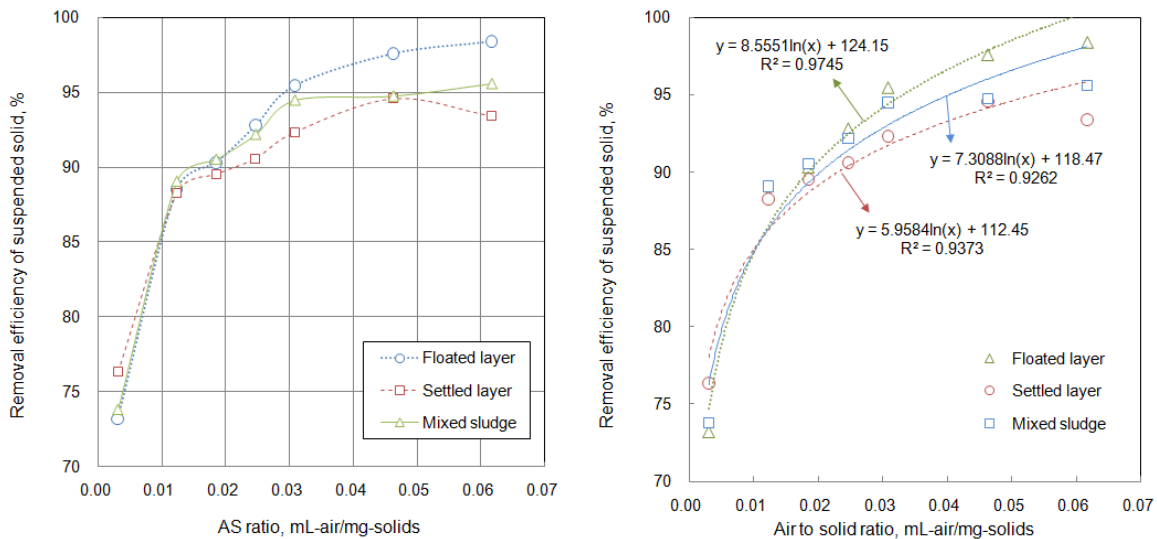


Fig 6. Change of removal efficiency depending on suspended solid concentration of sludge (Saturator pressure: 5.0 atm., AVC: 5,788 ppm).



(a) SS removal efficiency vs AS ratio

(b) Regression of SS removal efficiency in terms of AS ratio

Fig. 7. Suspended solid removal efficiency for three types of sludge in terms of air to solid ratio under without coagulation. Operation condition) Initial concentration: Floated layer 11,260 mg/L, Settled layer 10,310, Mixed sludge 10,880 mg/L, Saturator pressure 5.0 atm, Separation time 20 min.

것은 슬러지의 이화학적 성상이나 결합특성이 변화가 아니라 농축조에서의 높은 고형물 농도에 비하여 DAF 공정에서 배출 이송되는 과정에서 기포가 탈리되어 슬러지를 충분히 부상할 수 있는 조건이 만들어지지 않은 데에서 기인되었을 것으로 여겨진다. 따라서 DAF 공정에서 발생된 슬러지의 효과적인 농축을 위해서 부상법을 고려한다면, 10,000 mg/L가 넘는 고농도 슬러지의 처리를 위해서는 정수처리공정에서의 원수 입자를 처리하는 운전인자인 기포체적농도(air volume concentration) 보다는 고형물 농도에 비례하여 운전조작하는 A/S 비(air to solid ratio)를 적용해야함이 타당할 것이다.

다음 Fig. 7은 부상슬러지, 침전슬러지 그리고 혼합슬러지에 대하여 A/S 비의 변화에 따른 부유물질농도 처리효율을 보여주고 있다. A/S 비가 상승하면서 부유물질농도의 제거효율도 좋아졌다. 낮은 A/S 비에서는 부유물질 농도의 제거효율이 통상 80%를 하회하였으며 부유물질 제거효율 90% 이상을 달성하려면 A/S 비가 약 0.02 mL-air/mg-solids 이상으로 운전되어야 함을 알 수 있다. 본 실험에서도 부상슬러지, 침전슬러지 그리고 혼합슬러지의 부상분리 효율이 대동소이한 결과를 나타내었다.

결국 이상의 실험과 분석결과로 미루어볼 때 DAF 공정에서 발생된 기포-플록 응집체의 유/무기적 성상에 따라 DAF 농축조에서 부상 또는 침전되는 것이 아니라 DAF 공정에서 농축조로 배출 이송되는 과정에서 수리학적 전단력에 의한 기포 탈착 등 외부의 물리적 영향에 의하여 슬러지가 DAF 공정에서처럼 수표면에 부상될 수 있는 부상력을 상실한데서 기인한 것으로 여겨진다. 따라서 DAF 공정에서 발생된 슬러지를 침전이 아닌 부상법으로 부상농축하기 위해서는 다시 부상분리 조작을 가해야 하며 이때 슬러지의 고형물 농도에 적합한 기포체적농도 즉, 적정 범위의 A/S 비로 운전되어야 효과적인 슬러지의 부상 농축효율이 달성될 수 있음을 알 수 있다.

4. 결론

DAF 공정에서 발생한 슬러지가 농축조에서 효과적으로 농축되지 못하는 현실적 문제 해결을 위하여 DAF 슬러지에 대한 특성분석과 부상분리 실험을 실시한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) DAF공정에서 발생하여 농축조로 유입된 후 부상층(floated layer)과 침전층(settled layer)을 분리 채취하여 슬러지의 유/무기성에 관한 성상과 등전점 측정에 따른 결합특성의 차이를 분석한 결과, 큰 차이를 찾아볼 수 없었다.

2) 농축조로 유입된 DAF 슬러지는 DAF 공정에서 수표면에 안정된 부상층을 형성했던 것과는 달리, 응집여부와 상관없이 부상층과 침전층의 시로 및 혼합 슬러지 모두 break-up되는 현상이 나타났다.

3) 농축조에 유입된 DAF 슬러지의 break-up을 저감하고 효율적인 부상농축을 위해서는 다시 부상조작을 실시하여야 하며, 일반적 정수처리의 기포체적농도 범위에서는 슬러지 농도가 10,000 mg/L를 초과하는 경우 처리효율이 크게 악화되므로 슬러지의 고형물 농도에 대응한 적정 A/S비로 설계-운전되어야 할 필요가 있다.

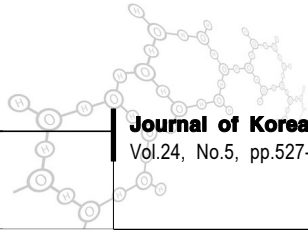
4) 결국 DAF 공정에서 농축조로 배출 이송되는 슬러지는 수리학적 전단력에 의한 기포 탈착 등 외부의 물리적 영향에 의하여 일부 고농도의 슬러지가 부상력을 상실하여 농축조에서 일부 부상, 일부 침전되는 문제를 유발하고 있는 것으로 여겨진다. DAF 공정에서 발생된 고농도의 슬러지를 침전이 아닌 부상법으로 부상농축하기 위해서는 고형물 농도에 적절히 대응한 A/S 비로 효율적인 슬러지의 부상 농축효율을 달성할 수 있을 것이다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(No.2010-0016075)입니다.

참고문헌

- Argaman, Y., and Kaufman, W. J. (1970), Turbulence and Flocculation, *Journal of the Sanitary Engineering Division, ASCE*, **96**(SA2), pp.223~241.
- Bare, W. F., Jones, N. B., and Middlebrooks, E. J. (1975), Algae Removal Using Dissolved Air Flotation, *Journal WPCF*, **47**(1), pp.153~169.
- Dockko S., Han, M.Y., Park, C.H. (1998). Measuring Zeta potential of Micro-bubbles in DAF, *J. of Korean Society of Water and Wastewater*, **12**(4), pp.53-58.
- Edzwald, J. K., Walsh, J. P., Kaminski, G. S. and Dunn, H. J. (1992), Flocculation and Air Requirements for DAF. *Journal of AWWA*, **84**(3), pp.32~39.
- Han, M. Y. (2001a). Modeling of DAF: the effect of particle and bubble characteristics, *Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA*, **51**(1), pp.27-34.
- Johnson, D., Farley, M. R., and Youngman (1977), Removal of Algae by Various Unit Process, *Water Research*



- Centre, Technical Report TR45, June.
- Kwak, D. H., H. J. Jung, S. J. Kim C. H. won, and J. W. Lee (2005), Separation Characteristics of Inorganic Particles from Rainfalls in Dissolved Air Flotation: A Korean Perspective, *Separation Science and Technology*, **40**, pp.3001-3016.
- Kwak, D. H., H.J. Jung, S.B. Kwon, E.J. Lee, C.H. Won, J.W. Lee, S.J. Yoo (2009), Rise Velocity Verification of Bubble-Floc Agglomerates Using Population Balance Model in DAF Process, *Journal of Water Supply Research and Technology-Aqua*, **58**(2), pp.85-94.
- Matsuo, T, and Unno, H. (1981), Forces Acting on Floc and Strength of Floc, *Journal of the Envir. Eng. Divis.*, **107**(EE3), pp.527-545.
- Parker, D. S., Kaufman, W. J., and Jenkins, D. (1972), Floc Break-up in Turbulent Flocculation Processes, *Journal of the San. Eng. Divis.*, ASCE, **.98**(SA1), pp.79-99.
- Regalbuto, J. R. A. Navada, S. Shadid, M. L. Bricker, and Q. Chen, (1999) An Experimental Verification of the Physical Nature of Pt Adsorption onto Alumina, *Journal of Catalysis*, **184**, pp.335-348.
- Schreier, M and Regalbuto, J. R (2004), A fundamental study of Pt tetraammine impregnation of silica: The electrostatic nature of platinum adsorption, *Journal of Catalysis*, **225**, pp.190-202.
- Thomas, D. G. (1964), Turbulent Disruption of Flocs in Small Particle Size Suspension, *Am. Inst. of Chem. Eng.*, **10**(4), pp.517-523.
- Zabel, T. (1985), The Advantages of Dissolved-Air Flotation for Water Treatment, *Journal of AWWA*, **77**(5), pp.42-45.