

# 화학적 개량이 미세기포 발생펌프를 이용한 슬러지 부상농축에 미치는 영향

## Effect of Chemical Conditioning on Flotation and Thickening Properties of Sludge using a Microbubble Generating Pump

이창한<sup>†</sup> · 안갑환\*  
 Chang-Han Lee<sup>†</sup> · Kab-Hwan Ahn\*

부산가톨릭대학교 환경공학과  
 \*부산가톨릭대학교 환경행정학과  
 Department of Environmental Engineering, Catholic University of Pusan  
 \*Department of Environmental Administration, Catholic University of Pusan

(2009년 4월 6일 접수, 2009년 7월 27일 채택)

**ABSTRACT** : The study presents sewage sludge flotation and thickening efficiencies which changes chemical conditioning and mixing conditions using a flotation thickening system with a microbubble generating pump. Flotation and thickening of sewage sludge are shown to significantly influence kinds of coagulants more than Gt values. It is found that the flotation and thickening efficiencies for kinds of coagulants follows the order:  $Al_2(SO_4)_3 < PSO-M < Fe_2(SO_4)_3$ . We shows that the flotation thickening system(1.6 m<sup>3</sup>/d) could be continuously operated during two hours on operation conditions in the lab-scale experiments. Sludge thickening efficiency in the A/S ratio of 0.029 - 0.019 mL/mg was found to be very efficient, reaching to 300.0 ~ 335.7%.

**Key words** : Sewage sludge, Thickening, Microbubble, Conditioning, Flotation

**요약** : 본 연구는 미세기포 발생펌프가 장착된 하수슬러지 부상농축 장치를 이용하여 화학적인 개량 및 교반조건에 따른 하수슬러지 부상농축효율을 나타내었다. 하수슬러지의 부상농축은 Gt 값보다는 응집제 종류에 더 큰 영향을 받았다. 응집제 종류에 따른 하수슬러지 부상농축효율은  $Al_2(SO_4)_3 < PSO-M < Fe_2(SO_4)_3$  응집제 순으로 높게 나타났다. 회분식 실험에서 도출된 운전조건을 이용하여 1.6 m<sup>3</sup>/d 용량의 하수슬러지 부상농축장치를 2시간동안 연속적으로 운전할 수 있었으며, A/S 비가 0.029~0.019 mL/mg에서 슬러지 농축율은 300.0~335.7%로서 매우 효율적이었다.

**주제어** : 하수슬러지, 농축, 미세기포, 개량, 부상

### 1. 서론

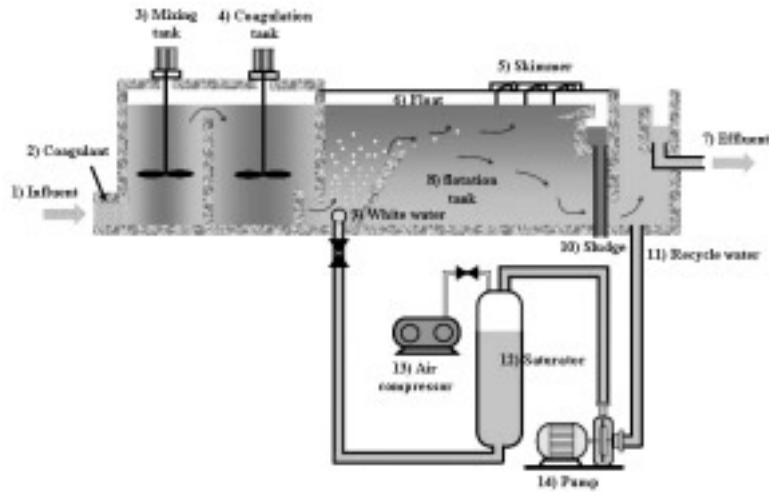
하수슬러지는 런던협약에 따른 해양환경관리법 시행으로 2008년 8월부터 하수처리장 슬러지의 해양투기를 금지하였다. 그러나, 국내의 경우 연간 하수슬러지 발생량은 1996년 129만 톤/년에서 2007년에 274만톤/년으로 지속적으로 증가되는 추세이다.<sup>1, 2)</sup>

하수슬러지 처리는 농축 및 개량이 포함된 탈수공정과 소화와 습식산화와 같은 슬러지 내의 유기물을 제거하는 소화공정으로 구성된다. 탈수공정은 무기/유기 응집제를 주입하는 개량 효율과 여과 및 원심분리의 성능에 의해 탈수효율이 결정된다. 탈수효율은 응집제 주입량, 슬러지 특성, 교반조건, 및 탈수 성능에 따라 영향을 받는다.<sup>3)</sup> 또한, 탈수된 슬러지 케익은 포함된 함수율에 따라 재이용 방안 및 경제적 효용성이 달라진다. 하수

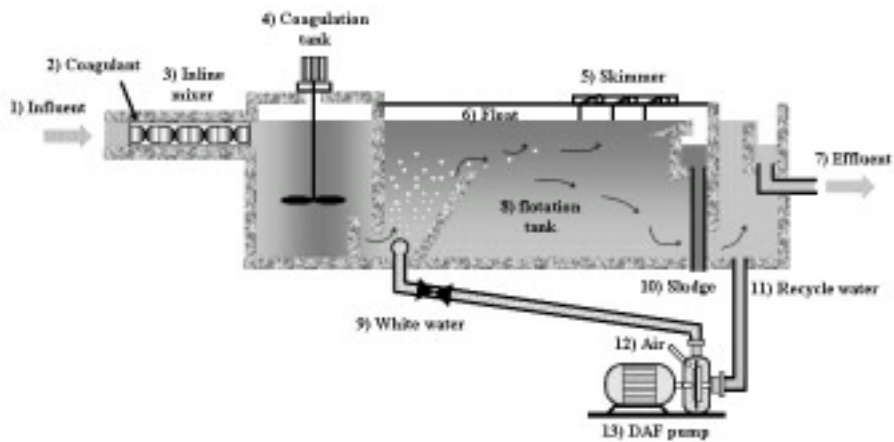
슬러지의 농축은 저밀도인 플록 특성 때문에 중력 및 원심분리에 비해 부상농축이 유리하다고 보고된 바 있으며<sup>4)</sup>, Bratby<sup>5)</sup>는 하수슬러지의 부상농축공정에서 스크래퍼 및 슬러지 배출 주기에 따른 효율적인 설계 및 운전인자를 제시한 바 있다. 하수슬러지의 개량, 농축(중력, 원심분리, 및 부상), 및 탈수에 대한 연구 및 기술개발이 활발하게 이루어지고 있지만 생물학적 슬러지의 특성을 고려한 슬러지 개량, 농축, 및 탈수 거동에 대한 원천적인 연구가 이루어져야 슬러지 케익의 함수율 저감 및 재이용에 있어 현장 적용성 및 효율성이 높일 수 있다.

본 연구는 미세기포 발생펌프가 장착된 부상농축 장치를 이용하여 응집제 주입 및 교반조건에 따른 부상농축효율을 정량적으로 비교하였다. 이 장치의 연속 실험으로부터 운전 및 설계에 필요한 요소들을 도출하였다.

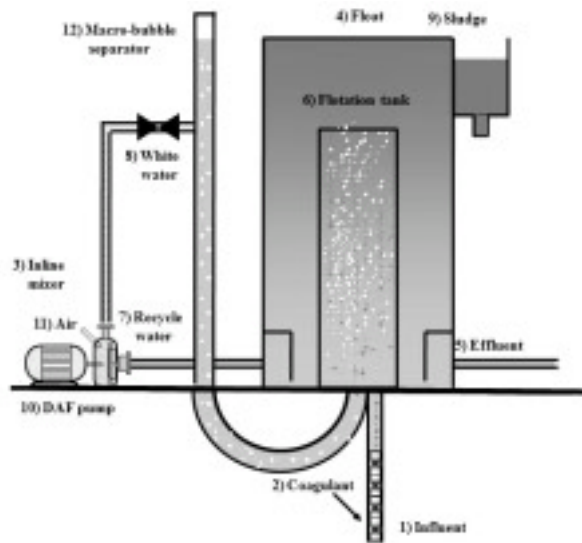
<sup>†</sup> Corresponding author : E-mail : chlee@cup.ac.kr Tel : 051-510-0624 Fax : 051-501-0628



(a) DAF system using a saturator for water treatment



(b) DAF system using a microbubble generating pump for water treatment



(c) DAF system using a microbubble generating pump for sludge thickening

Fig. 1. Systematic diagram of three kinds of DAF system.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 응집제

응집제는 시약용 황산알루미늄( $Al_2(SO_4)_3 \cdot 13\sim 14H_2O$ )와 철염( $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 6H_2O$ ), 및 폴리황산알루미늄마그네슘(PSO-M)을 사용하였다. 각 응집제는 표준용액을 Al과 Fe 이온을 기준으로 하여 10 g/L로 제조한 후 일정한 농도로 희석하여 사용하였다. 연속식 부상농축장치를 이용한 실험은 회분식 실험에서 도출된 응집제 주입조건을 이용하여 제조된 표준용액과 원수를 유량을 계산하여 정량적으로 주입하였다. 응집제는  $Al_2(SO_4)_3$ , 철 $Fe_2(SO_4)_3$ , 및 PSO-M을 기준으로 하여 0.2~0.4 meq/g sludge 범위로 주입하였다.

### 2.2. 회분식 부상농축 실험

회분식 부상농축은 DAF-jar tester(ECE engineering, Co., Ltd)를 사용하여 실험하였으며, 이 장치는 포화조(saturator)형 회분식 부상장치로서 1.3 L 사각형 조가 6개로 구성되어 있다. 가압수의 압력은 5 kgf/cm<sup>2</sup>로 고정하였고, A/S 비의 비교를 위하여 반송율을 33.3~100.0%로 조절하였다.

회분식 부상농축실험에서 혼합(mixing)은 교반속도와 시간을 각각 100~359 rpm(189~1337 s<sup>-1</sup>)과 60~600초로 하였고, 응집(coagulation)은 교반속도와 시간을 각각 10~150 rpm(6~350 s<sup>-1</sup>)과 60~900초로 하였고, 부상시간은 10분으로 실험하였다. 부상농축효율은 탁도측정계(2100N IS Turbidimeter, HACH)를 이용하여 원수와 처리수의 탁도를 측정하여 계산하였다.

하수슬러지의 부상농축효율은  $\frac{T_0 - T}{T_0} \times 100$  그리고 부상농축효율은  $\frac{S}{S_0} \times 100$ 로 정의하여 계산하였다. 여기에서  $T_0$ : 유입되는 슬러지 탁도,  $T$ : 유출수 탁도,  $S_0$ : 주입된 슬러지 농도, 및  $S$ : 상부로 부상된 슬러지 농도이다.

### 2.3. 연속식 부상농축 실험

#### 2.3.1. 슬러지 농축부상 공정

DAF 공정은 포화조형과 미세기포 발생 펌프형 장치로 구분된다. Fig. 1a는 포화조형 장치로서 미세기포가 발생되기 위해 펌프, 공기 주입용 콤프레샤, 공기/순환수 포화조를 포함하는 구조이며, 장치가 복잡하고 운전범위가 협소하여 운전 및 유지관리가 어렵다. Fig. 1b는 미세기포 발생 펌프형 장치로서 기존의 포화조를 미세기포 발생 펌프로 컴팩트화한 공정이다. Fig. 1c는 미세기포 발생 펌프형 하수슬러지 부상농축 장치로서 높은 고품물 부하량 때문에 부상/농축부분을 높게 설계된 구조이다. 본 실험에 적용된 장치는 Fig. 1c의 미세기포

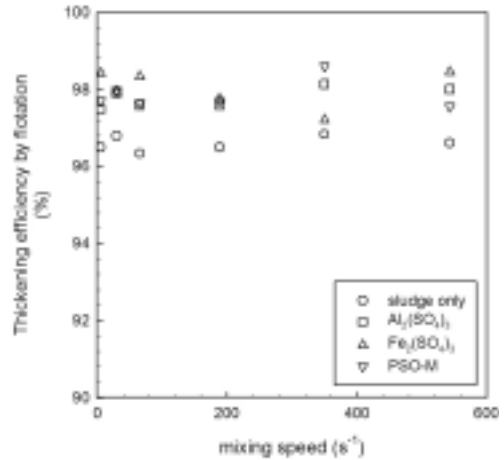


Fig. 2. Effect of mixing speed in chemical coagulation on the thickening efficiency by flotation.

발생장치와 부상농축조로 구성되어 있다. 이 공정은 공기를 미세기포 발생펌프로 주입하여 케이싱 내에서 임펠러의 회전 에 의해 유입된 공기를 용해/분산시켜 미세기포를 제조하는 원리이며, 현재 운전성능에 대한 효율 비교 및 실용화 연구가 진행되고 있다.<sup>7)</sup> 이 장치에서 토출되는 미세기포 크기는 토출 압력이 4.5~6.0 kgf/cm<sup>2</sup>에서 약 40~43 μm 범위를 나타낸다는 것을 이전의 연구에서 보고한 바 있다.<sup>8)</sup>

#### 2.3.2. 미세기포 발생펌프형 슬러지 부상농축 공정

미세기포 발생펌프형 하수슬러지 부상농축 공정의 설계에 있어서 부상농축조의 고품물 부하량에 따른 설계기준<sup>9)</sup>을 Table 1에 나타내었다. 본 연구에 적용된 부상농축조의 고품물 부하량은 220 kgTS/m<sup>2</sup>/d(9.17 kgTS/m<sup>2</sup>/hr)로 하여 설계하였다. 미세기포 발생장치의 토출압력은 5.0 kgf/cm<sup>2</sup>에서 유량이 5.22 L/min인 조건으로 하여 설계기준을 산정하였다. 이 시스템의 처리유량은 4.8 m<sup>3</sup>/day(3.3 L/min)으로 하였고, 유입되는 하수슬러지 농도는 3,000 mg/L를 기준으로 하였다.

Table 1. Typical solids loading rates for dissolved air flotation thickening<sup>7)</sup>

Type of sludge	Solids loading rate(kgTS/m <sup>2</sup> · d)	
	Without chemicals	With chemicals
Primary sludge	100~150	≤300
Activated sludge	50	≤220
Trickling filter sludge	70~100	≤270
Mixed sludge (primary + activated sludge)	70~150	≤270
Mixed sludge (primary + thickling filter)	100~150	≤300

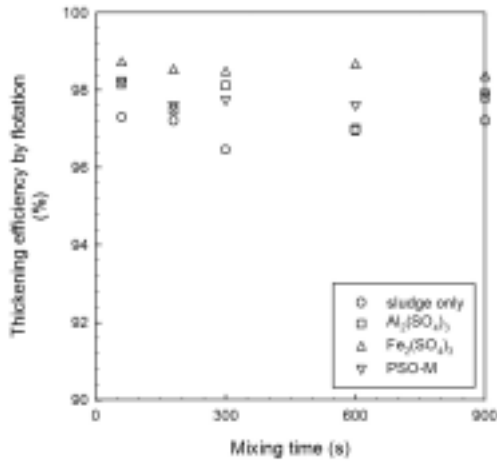


Fig. 3. Effect of mixing time in chemical coagulation on the thickening efficiency by flotation.

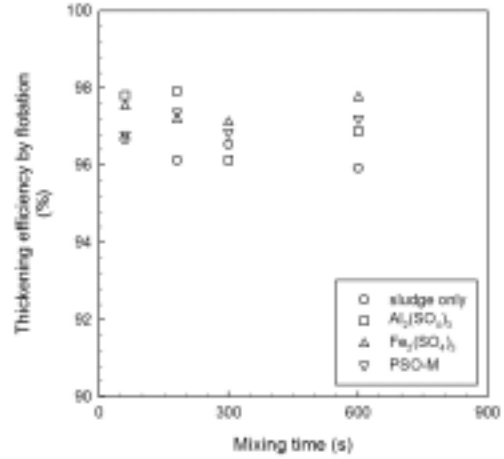


Fig. 5. Effect of mixing time(543 s<sup>-1</sup>) in chemical coagulation on the thickening efficiency by flotation.

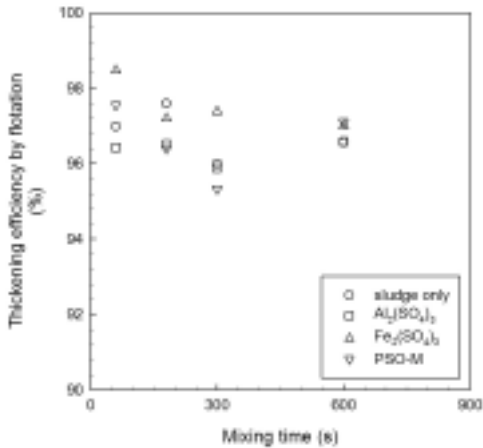


Fig. 4. Effect of mixing time(189 s<sup>-1</sup>) in chemical coagulation on the thickening efficiency by flotation.

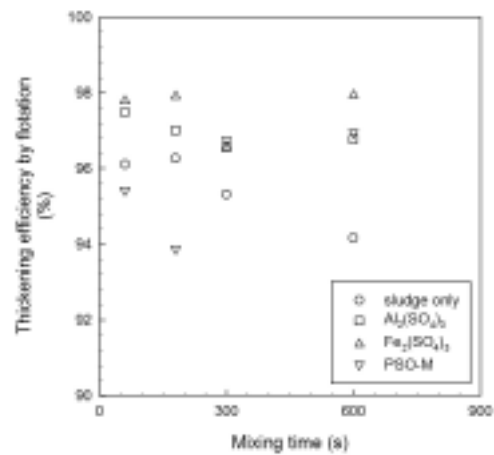


Fig. 6. Effect of mixing time(1,337 s<sup>-1</sup>) in chemical coagulation on the thickening efficiency by flotation.

### 2.3.3. 미세기포 발생펄프형 슬러지 부상농축 공정의 운전

연속운전 실험은 회분식 실험과 10 L 용량의 부상농축조의 개량 및 운전조건(A/S 비)을 기준으로 하여 수행하였다. 10 L 용량의 부상농축조는 반송율을 50~500% 및 응집제 주입량의 조건을 다양하게 실험하기 위해 사용하였다. 92 L 용량의 부상농축조는 10 L 용량의 부상농축조에서 결정된 운전조건을 적용하여 연속운전을 수행하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 교반강도(G)와 시간(t)에 따른 하수슬러지 개량 특성

Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4, Fig. 5, 및 Fig. 6은 완속 및 급속교반 조건에 따른 하수슬러지의 부상농축효율을 나타낸 것이

다. 교반강도와 시간에 따른 하수슬러지의 부상농축효율은 A/S 비를 0.0096 mL/mg(반송율 : 71.4%)로 고정하여 실험하였다.

Fig. 2와 Fig. 3은 완속교반 속도와 시간에 따른 부상농축효율을 나타낸 것이다. Fig. 2은 359 rpm(1337s<sup>-1</sup>)에서 60 초 동안 혼합한 후 응집(개량) 조건을 변화시켰다. 응집시 교반속도는 10(6), 30(30), 50(65), 100(189), 150(350), 및 200 rpm(543s<sup>-1</sup>)으로 증가시켰으며, 이 범위에서 교반속도에 따른 부상농축효율은 크게 변화되지 않았다. 그러나 3종류의 응집제(Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, 및 PSO-M)로 개량된 하수슬러지와 개량되지 않은 하수슬러지의 부상농축효율은 약 2%정도 차이를 보였다. Fig. 3은 일정한 혼합 조건에서 응집시 교반속도를 35 rpm(38s<sup>-1</sup>)로 하였다. 부상농축효율은 응집제가 주입되지 않은 하수슬러지에서 교반시간에 따라 약간

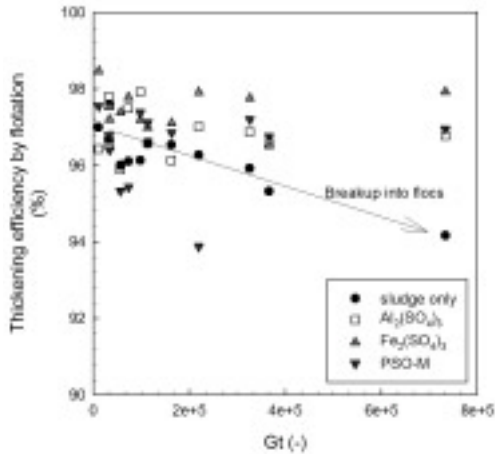


Fig. 7. Effect of Gt value in chemical coagulation on the thickening efficiency by flotation.

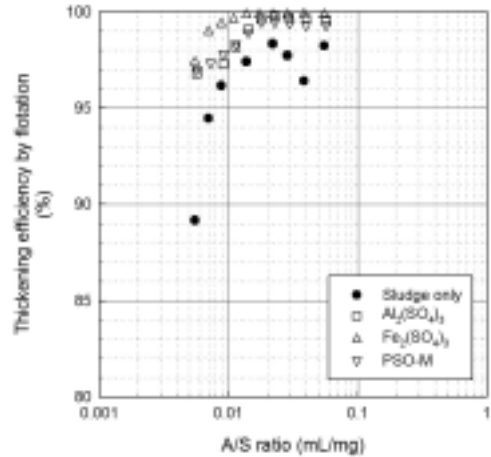


Fig. 8. Effect of A/S ratio in chemical coagulation on the thickening efficiency by flotation.

감소되는 경향을 보이지만, 교반시간 보다는 응집제 주입량에 더 큰 영향을 받는다.  $Fe_2(SO_4)_3$ 는  $Al_2(SO_4)_3$ 와 PSO-M로 개량된 하수슬러지에 비해 부상농축효율이 약 3%정도 높게 나타났다.

Fig. 4와 Fig. 5은 혼화시 교반속도와 시간에 따른 영향을 나타낸 것이다. Fig. 2와 Fig. 3의 결과에서 응집시 교반조건에 따른 부상농축효율이 영향을 거의 받지 않아 Fig. 4, Fig. 5, 및 Fig. 6에서는 혼화 후 응집을 수행하지 않은 상태에서 부상농축효율을 비교하였다. 혼화시 교반속도는 100(189), 200(543), 및 359 rpm( $1337s^{-1}$ )에서 60~600초 동안 교반하였다. 교반속도가 100 rpm( $189s^{-1}$ )인 조건에서 개량되지 않은 하수슬러지와  $Al_2(SO_4)_3$  및 PSO-M이 주입된 하수슬러지는 교반시간에 따라 플록이 해체현상이 발생하여 부상농축효율이 낮아지는 경향을 나타내었다. 교반속도를 200(543)과 359 rpm( $1337s^{-1}$ )로 높일 경우, 하수슬러지 플록에 가해지는 전단력이 높아져 개량되지 않은 하수슬러지와 개량된 하수슬러지의 부상농축효율이 차이가 더 커지는 경향을 나타내었다.

$Fe_2(SO_4)_3$ 으로 개량된 하수슬러지는 교반시간에 따라 초기에는 약간 낮아지는 경향을 보였으나 180초 이후 일정하게 유지되었다. 이 결과는 알루미늄계 응집제인  $Al_2(SO_4)_3$ 와 PSO-M에 비해 철계 응집제인  $Fe_2(SO_4)_3$ 가 하수슬러지 플록과의 친화도가 높아 교반시간에 따른 플록해체가 적게 발생하여 부상농축효율이 높게 유지된 것으로 판단된다. Urbain 등<sup>10)</sup>은 활성슬러지에  $Fe^{3+}$  이온을 첨가하면  $Ca^{2+}$ 와  $Mg^{2+}$  이온과 같은 2가 양이온들과 이온교환이 일어나서 큰 플록으로 형성된다는 것을 제시한 바 있으며, 이<sup>11)</sup>는 1가, 2가, 및 3가 양이온의 첨가량에 따라  $Fe^{3+} > Al^{3+} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+ > Na^+$ 의 순으로 소화슬러지 플록의 부피평균입경이 증가한다고 제

시한 결과와 유사하게 본 실험에서도 응집제와 하수슬러지의 친화도에 따라 하수슬러지의 개량 및 부상농축효율이 달라졌다. 그러나,  $Fe_2(SO_4)_3$ 가 과량이 주입되면, 개량된 하수슬러지 플록이 밀도가 높아져 부상농축을 위해 높은 A/S 비가 필요할 것으로 판단되었다. 혼화와 응집시 교반조건에 따른 영향을 교반속도(속도경사 : G)와 교반시간(t)로 환산하여 Gt 값에 따른 부상농축효율을 Fig. 7에 나타내었다. 혼화시 교반속도가 200(543)과 359 rpm( $1337s^{-1}$ )인 조건에서  $Al_2(SO_4)_3$ ,  $Fe_2(SO_4)_3$ , 및 PSO-M을 주입하여 개량된 하수슬러지는 교반시간에 따라 초기에 부상농축효율이 약간 감소하는 경향을 나타내었다. 응집제가 주입되지 않은 하수슬러지는 교반시간에 따라 부상농축효율이 지속적으로 감소하는 경향을 나타내었다. 이 결과에서 응집제로 개량하지 않은 하수슬러지는 Gt 값이 증가함에 따라 플록이 해체되어 부상농축효율이 점차 감소하지만, 3종의 응집제( $Al_2(SO_4)_3$ , PSO-M, 및  $Fe_2(SO_4)_3$ )로 개량된 하수슬러지는 교반조건에 의해 플록해체가 적어 부상농축효율이 유지되며 Gt 값에 대한 영향도 적었다. 응집제 종류에 따른 부상농축효율은  $Al_2(SO_4)_3 < PSO-M < Fe_2(SO_4)_3$  순이었으며, 부상농축을 위한 하수슬러지의 개량은 Gt 값의 영향 보다는 응집제 종류에 따른 개량 및 부상농축효율에 영향을 많이 받는다는 것을 알 수 있었다.

### 3.2. 반응율에 따른 하수슬러지 부상농축 효율 실험

Fig. 8은 10 L 부상농축장치를 이용하여 A/S 비에 따른 부상농축효율을 나타낸 것이다. 실험조건은  $Al_2(SO_4)_3$ ,  $Fe_2(SO_4)_3$ , 및 PSO-M을 주입하면서 하수슬러지 농도와 반응율을 각각 3,000~4,000 mg/L와 50~500%로 하여 부상농축효율을 비교한 것이다. 응집제를 주입하지 않은 조건에

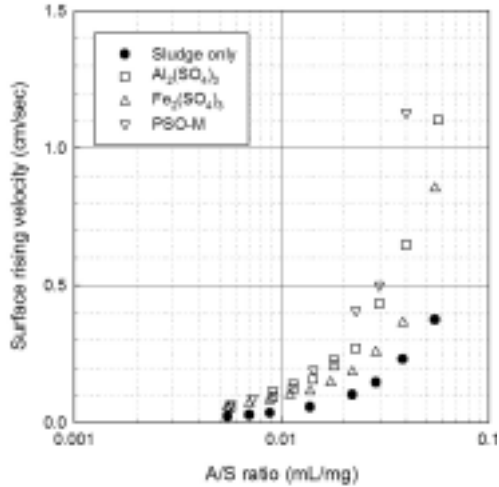


Fig. 9. Effect of A/S ratio in chemical coagulation on surface rising velocity.

서 A/S 비가 0.0114 mL/mg(반송율:100%) 이상이면 부상농축효율이 98% 이상으로 유지되었다. 이 결과는 A/S 비가 0.01 mL/mg인 회분식 실험에서 부상농축효율이 96%와 비교하여 2% 이상 부상농축효율이 증가하였다. 또한, Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> 및 PSO-M을 주입하여 개량된 하수슬러지는 A/S 비가 0.01 mL/mg 이하로 감소하여도 부상농축효율이 크게 낮아지지 않았다.

### 3.3. 부상농축 장치 운전 특성

#### 3.3.1. 연속운전에서 하수슬러지 계면부상속도

Fig. 9은 10 L 부상농축장치를 이용하여 A/S 비에 따른 부상된 스킴의 계면 부상속도를 나타낸 것이다. 계면 부상속도는 가압수 주입된 후 1분이 경과된 시점에서 농축부상하는 하수슬러지의 층 높이를 30초 간격으로 측정하여 계산하였다. 계면부상속도는 부상된 슬러지 층이 상승하여 농축되는 속도를 나타낸다. 이 결과에서 A/S 비를 0.0137~0.0143 mL/mg(반송율 : 125%)로 하였을 때 응집제 미주입, Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, PSO-M, 및 Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>의 계면부상속도는 각각 0.057, 0.157, 0.192, 및 0.115 cm/sec이었다. 개량된 하수슬러지의 계면부상속도는 개량되지 않은 하수슬러지에 비해 144~337%로 증가하는 경향을 나타내었다. 또한, 3 중 응집제를 비교하였을 때, 알루미늄계 응집제인 Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>와 PSO-M를 주입하였을 때 철계 응집제인 Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>에 비해 높은 계면부상속도를 나타내었다. 알루미늄 이온(원자량 : 26.98 g/mol)이 철 이온(원자량 : 55.85 g/mol)보다 개량된 플록의 밀도가 낮아 계면부상속도가 높은 것으로 판단되었다. 이 결과로부터 하수슬러지 중력농축하지 않고 부상농축할 경우 알루미늄계 응집제를 사용하면 개량효율은 감소되지만, 형성된

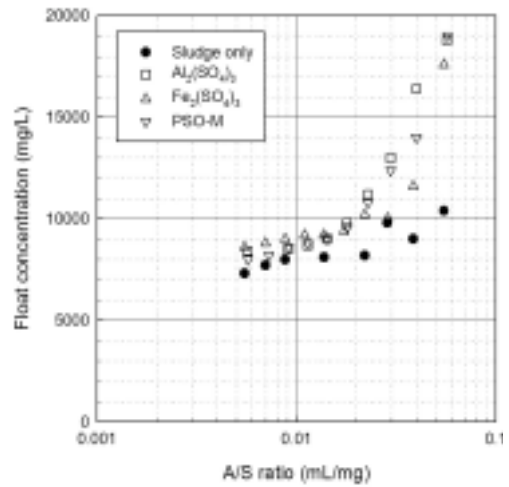


Fig. 10. Effect of A/S ratio in chemical coagulation on float concentration.

플록의 밀도가 낮아 부상효율이 증가된다는 것을 알 수 있었다. 따라서 하수슬러지의 부상농축의 경우 부상조의 구조에 따라 응집제 선정 및 주입량이 달라져야 할 것으로 판단된다.

#### 3.3.2. 연속운전에서 부상된 하수슬러지 농도

Fig. 10은 10 L 부상농축장치를 이용하여 A/S 비에 따른 부상된 하수슬러지 농도(농축효율)를 나타낸 것이다. 부상된 하수슬러지 농도는 부상된 슬러지 층의 시료를 채취하여 고형물 농도를 비교하였다. 이 결과에서 A/S 비를 0.0137~0.0143 mL/mg로 하였을 때 응집제 미주입, Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, PSO-M, 및 Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>의 부상된 하수슬러지 농도는 각각 8,100, 9,000, 9,000, 8,900, 및 9,200 mg/L이었다. 부상된 하수슬러지 농도는 개량에 의해 부상농축효율이 9.8~13.6%정도 증가하였으며, 농축율은 167.9~173.6%이었다. A/S 비를 더 높이면 부상농축효율은 증가하는 경향을 보였지만, A/S 비를 0.02 mL/mg(175%) 이상 증가시키면, 부상농축된 하수슬러지 농도와 하수슬러지 농축율을 각각 9,000 mg/L과 173.6% 이상으로 높일 수 있으나 가압수량의 증가로 인한 펌프의 소요동력이 증가할 것으로 판단되어 소요동력과 부상효율간의 비교가 이루어진 후 최적조건을 결정해야 할 것이다. 이 결과도 계면부상속도의 결과와 유사하게 알루미늄계 응집제가 철계 응집제에 비해 하수슬러지 농축율이 높게 나타났다.

### 3.4. 연속운전에 의한 부상농축 효율 및 안정성 평가

연속운전의 부상농축효율은 92 L 용량의 부상농축조를 이용하여 실험하였으며, 유입되는 하수슬러지 농도는 2,800~4,100 mg/L이었다. 이 장치는 부상된 스킴 제거장치가 부착되어 있지 않기 때문에 운전시간이 23~32분, 42~60분, 그리고

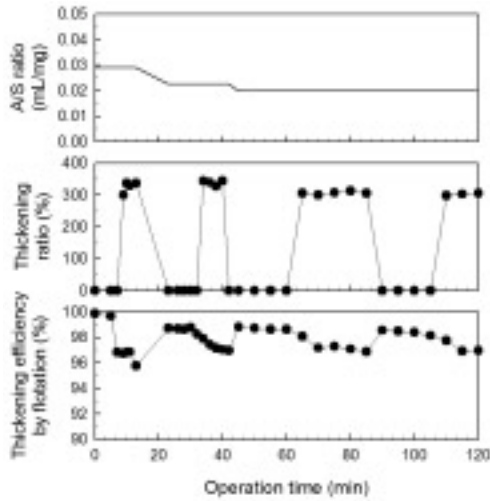


Fig. 11. Operation results of the continuous sewage sludge thickening system in 120 min.

85~105분에서 수위조절을 통해 부상된 하수슬러지 스크름 제거하였다. 따라서 이 지점에서 하수슬러지 농축율은 비교하지 않았다. 운전조건은 운전시간에 따라 하수슬러지 농도를 2,800, 3,600, 그리고 4,100 mg/L로 점차 증가시켰으며, A/S 비를 0.029, 0.023, 그리고 0.019 mL/mg로 감소되는 조건으로 실험하였다. Fig. 11는 92 L 용량 부상농축조의 연속운전에 따른 부상농축효율을 비교한 것이다. 초기 10분에서 부상농축효율은 이 장치가 수력학적 체류시간을 10분하여 설계하였기 때문에 이 범위 이내의 조건은 비정상상태의 운전으로 판단되어 하수슬러지 부상농축율 및 부상농축효율을 비교하지 않았다. 운전시간 10~13 분에는 부상농축율과 부상농축효율이 각각 300.0~335.7%와 95.8~96.9%이었다. 23~32 분에는 수위조절을 통해 상부에 부상된 하수슬러지 스크름을 제거하였기 때문에 부상농축효율이 약 98.0%로 증가하는 경향을 보였다. A/S 비를 0.023와 0.019 mL/mg으로 증가시켜 운전하여도 유사한 경향을 나타내었다. 하지만, 스크름 제거장치가 부착되지 않아 운전조건에 따라 부상된 하수슬러지 스크름이 일정하게 배출되지 않아 유출수의 탁도가 높아지고 부상농축효율이 감소되는 실험상에 제약조건이 있었다.

#### 4. 결론

본 연구는 실험실 규모의 부상농축 실험을 통해 하수슬러지의 전처리(개량) 및 부상조건(부상속도와 A/S 비)을 최적화하여 미세기포 발생 펌프형 하수슬러지 부상농축 장치의 운전

에 따른 하수슬러지 농축효율을 비교하고자 하였으며, 실험 및 운전 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

하수슬러지의 개량과 농축부상은 A/S 비가 0.01 mL/mg 이상 유지된다면 95% 이상의 부상농축효율을 얻을 수 있었다. 개량되지 않은 하수슬러지는 Gt 값이 증가함에 따라 플록이 해체되어 부상농축효율이 점차 감소되는 경향을 보였으며, 응집제( $Al_2(SO_4)_3$ , PSO-M, 및  $Fe_2(SO_4)_3$ )로 개량된 하수슬러지는 하수슬러지 플록이 개량 및 응집되어 Gt 값에 대한 영향을 적게 받았다. 응집제 종류에 따른 부상농축효율은  $Al_2(SO_4)_3 < PSO-M < Fe_2(SO_4)_3$  순이었으며, 이 결과로부터 부상농축을 위한 하수슬러지의 개량은 Gt 값의 영향 보다는 응집제 종류가 개량 및 부상농축효율에 영향을 주었다.

회분식 실험에서 도출된 설계인자를 이용하여 1.6 m<sup>3</sup>/d 용량의 하수슬러지 부상/농축 장치를 2시간동안 연속적으로 운전하였으며, A/S 비가 0.029~0.019 mL/mg인 조건에서 부상농축율과 부상농축효율이 각각 300.0~335.7%와 95.8~96.9%로 나타났다.

KSEE

#### 사 사

이 논문은 2007년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었으며(KRF-2007-331-D00240), 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. 홍준석, "각국의 하수오니 관리현황", <http://www.me.go.kr/book/html/폐기물분야/5-10.htm>.
2. 김갑수, "국내외 하수슬러지 처리·처분 현황 및 개선방안", 대한환경공학회지, **29**(1), 8~16(2007).
3. Metcalf and Eddy, "Wastewater Engineering : Treatment and Reuse", McGrawHill, pp. 1447~1622(2004).
4. Choi, Y. G., and Chung, T. H., "Effects of humus soil on the settling and dewatering characteristics of activated sludge", *Wat. Sci. Tech.*, **42**(9), 127~134(2000).
5. Bratby, J. R., and Ambrose, W. A., "Design and control of flotation thickeners", *Wat. Sci. Tech.*, **31**(3-4), 247~261(1995).
6. Reali M., A. P., Campos, J. R., and Penetra, R. G., "Sewage treatment by anaerobic biological process associated with dissolved air flotation", *Wat. Sci. Tech.*, **43**(8), 91~98(2001).

7. 이창한, 안대명, 김성수, 조석호, 안갑환, “DAF 펌프를 이용한 실규모 용존공기부상 공정의 전처리 조건”, *대한환경공학회지*, **31**(1), 58~63(2009).
8. 안대명, 이창한, 최윤찬, 조석호, 안갑환, 김성수, “국산 DAF 펌프의 기포농도 및 부상 효율에 대한 연구”, *화학공학의 이론과 응용*(2002).
9. Cleveron, V. A., Marcos, S., and Fernando, F., “Sludge Treatment and Disposal”, IWA Publishing, pp.78~81(2007).
10. Urbain, V., Block, J. C., and Maenm, J., “Bioflocculation in activated sludge : an analytic approach”, *Wat. Res.*, **27**(5), 829~838(1993).
11. 이창한, “금속염 응집제에 의한 폐슬러지의 응집 현상 및 탈수 특성”, 부산대학교 박사학위논문(2002).