

DAF 슬러지의 부상식 농축; 고행물 플럭스법 적용과 영향인자

Thickening of Sludge from DAF process by Flotation; Application of Solid Flux Theory and Effective Factors

박상철^{1,*} · 한무영¹ · 독고석² · 권순범³

Park, Sangcheol^{1,*} · Han, Mooyoung¹ · Dockko, Seok² · Kwon, Soonbuhm³

1 서울대학교

2 단국대학교

3 한국수자원공사

(2006년 5월 12일 논문 접수; 2006년 8월 10일 최종 수정논문 채택)

Abstract

Compared with the sludge from gravity sedimentation, it is difficult for operations to settle the sludge occurred from dissolved-air-flotation (DAF). Even though there are some problems in treating DAF sludge with conventional gravity thickeners, those has been used until now. In this study, Solid Flux theory for gravity thickening was applied to the Solid Flux of DAF sludge through flotation in order to develop new methodology for treatment of DAF sludge. Also, characteristics of DAF sludge were investigated. From the experiment results, it was revealed that the higher the polymer dosage, at fixed the solid concentration, the greater the rising velocity becomes. When we applied solid flux theory, the relationship, which is similar to that of gravity thickening, has been achieved. Also, we could find the proper polymer dosage from the rising velocity is about 50 mg/L. Consequently, the limiting solid flux can be derived from the relationship between the total solid flux and the withdrawal velocity of DAF sludge. Furthermore, the factors, such as solid concentrations, bubble volume, pH, zeta potential, and temperature, have effects on the flotation and sedimentation for DAF sludge treatment.

Key words: Sludge from DAF plant, Solid Flux, Rising velocity, Polymer dosage, Effective factors

주제어: DAF 슬러지, 고행물플럭스, 부상속도, 폴리머 주입량, 영향인자

1. 서 론

정수처리에서 농축공정은 중력 침강식 농축이 대

부분의 정수장에서 사용되어 왔다. 중력 침강식 농축의 경우 시설과 운전이 간단하지만, 5~12시간 정도의 긴 체류시간을 필요로 한다. 또한, 비침전성 슬러지가 유입되는 경우 슬러지의 월류되는 문제점이 발

*Corresponding author Tel: +82-2-880-7375, FAX: +82-2-885-7376, E-mail: avrac96@hanmail.net (Park, S.C.)

생하게 되며, 오랜 침전시간으로 인해 농축조 및 탈수조의 시설용량은 커지게 된다. 이러한 문제의 대안으로 하수슬러지 처리에서는 부상식 농축법이 사용되어 왔으며, 부상식 농축법 중 용존공기부상법(Dissolved air flotation, DAF)이 널리 이용되어 왔다(Wastewater Engineering, Metcalf & Eddy, 1991). 이러한 용존공기부상법을 이용한 고액분리는 슬러지와 기포가 충돌하여 수면으로 부상시켜 농축시킴으로써 부유물질이나 유분, 그리스 등의 폐수를 정화하고 슬러지를 분리, 농축하는데 사용되었다(Kalinske, 1953). 그러나, 부상식 농축방법은 주로 하수처리에서 활성슬러지와 같은 비중이 작은 슬러지의 농축에 주로 이용되어 왔다(Bratby, 1995; Chung, 1995). 반면, 정수슬러지의 농축에 적용된 예는 기존 침전 슬러지를 대상으로 실험실 연구를 일부 실시하였다(Arora, 1995).

또한, 고형물 플럭스법(Solid Flux)은 기존의 중력식 농축조를 설계하는데 중요한 척도가 되어왔다. 플럭스 이론은 슬러지의 침강 및 압축 특성을 침전조 운전의 물리적 특성과 조합하는 실제적 수단이다. 중력식 농축조에서 고형물은 다음 두 가지 요인에 의해 하부로 이동하는데, 첫째는 농축조 하부에서 슬러지를 인발함에 따라 유발되는 하향흐름이고, 둘째는 중력에 의한 침강이다. 이 두 가지 요인에 의한 고형물의 이동을 고형물 플럭스로 표시하며, 고형물 플럭스는 단위 시간 동안에 단위 면적을 통한 고형물 이동량을 의미한다(AWWA, 1991). 부상에 의한 농축에서도 고형물의 플럭스를 고려하여 설계하면 부상농축에서의 이론적인 근거를 확립할 수 있을 것으로 판단된다.

최근 DAF 공법을 이용한 정수처리가 이루어지면서 DAF 공정에서 발생하는 슬러지의 처리에 관한 연구가 필요한 실정이다. 용존공기부상에 의해 발생하는 슬러지는 침전지 공정에서 발생하는 슬러지에 비해 낮은 함수율과 높은 고형물 농도를 보이고 있다

(Zabel, 1985). 그러나 DAF 슬러지는 슬러지 내부에 미세기포를 포함하고 있어 기존의 중력 침전식 농축조에서 농축을 하였을 경우 슬러지가 침전되어 농축되지 않고 수면에 부유하게 되어 농축처리에 어려움이 있다. 이러한 농축조의 상징수를 자연수계에 방류할 때 엄격해진 방류수 수질기준이 적용됨에 따라 배출수의 처리를 고려하여야 한다.

그럼에도 불구하고 현재까지 정수처리공정에서는 양질의 수돗물을 생산하기 위해 수처리 공정에만 많은 관심을 두었을 뿐 배출수 처리에 대한 연구는 아직 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구의 목적은 정수처리 공정 중 DAF 공정에서 발생하는 슬러지의 처리를 위해 DAF에 의한 부상공법을 이용한 농축 실험과 그에 따른 처리 효율을 살펴보고자 하며, DAF 슬러지의 부상농축에서 고형물 농도와 고분자 응집제 투입량에 따른 고형물 플럭스법을 부상식에 적용을 해 보고자 하였으며, DAF 슬러지를 부상농축에 영향을 미치는 인자들의 특성을 알아보고자 하였다.

2. 실험 방법

2.1. 실험 재료

DAF 슬러지에 의한 부상식 농축을 적용해보기 위한 실험에 사용된 DAF 슬러지는 강원도에 소재한 S정수장의 DAF조 말단 슬러지 배출지점에서 2회 채수하였다. 채수한 슬러지의 성상은 Table 1에서 설명하고 있다. sludge A는 고분자 응집제 투입량 결정 및 고형물 플럭스법 적용에 사용되었으며, sludge B는 농축에 미치는 영향을 알아보기 위한 실험에 사용되었다.

각 실험에 사용된 시료량은 500ml 슬러지를 사용하였으며, 실험에 사용된 슬러지는 원슬러지를 희석하여 2.54kg/m³에서 25.40kg/m³까지 10개의 다른 농도로 분류하였다. DAF 부상 농축을 원활하게 하기 위해 본 연구에 사용된 고분자 응집제의 종류는 유백

Table 1. The characteristics of sludge from DAF process

| | Solid conc. (kg/m ³) | VS/TS (%) | Turbidity (NTU) | Zeta potential (mV) | pH | Alkalinity (mg/L as CaCO ₃) | Air volume (ml/ml) | Temp. (°C) |
|----------|-------------------------------------|--------------|--------------------|------------------------|-----------|--|-----------------------|---------------|
| Sludge A | 23.4 | 41.73 | 3,600~4,000 | -4.69~-7.61 | 6.69~7.22 | 1,100 | 0.034 | 15~17 |
| Sludge B | 12.60 | 31.8 | 3,000~4,000 | -10.55~-13.40 | 7.13~7.33 | 1,000~1,200 | 0.002 | 15~20 |

Table 2. pH, zeta potential, and aluminum concentration depending on solid concentration

| Solid conc.(g/l) | 2.54 | 5.08 | 7.62 | 10.16 | 12.70 | 15.24 | 17.78 | 20.32 | 22.86 | 25.40 |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|
| pH | 7.22 | 7.16 | 7.13 | 6.94 | 6.80 | {6.81 | 6.87 | 6.72 | 6.70 | 6.69 |
| Zeta potential (mV) | -11.36 | -11.85 | -9.96 | -9.02 | -7.56 | -8.06 | -7.13 | -7.36 | -6.72 | -6.30 |
| Aluminum conc.(mg/l) | 116.79 | 362.26 | 554.93 | 838.04 | 1178.77 | 1348.04 | 1570.37 | 1815.84 | {2011.69 | 2276.17 |

Table 3. The characteristics of anionic polymer

| Product name | Appearance | Principal ingredient | Ionicity /electric density | Specific density (25°C) | Viscosity | | | pH at 0.2% | Effective range of pH | Freezing point (°C) |
|--------------|------------------------|----------------------|----------------------------|-------------------------|-----------|------|-------|------------|-----------------------|---------------------|
| | | | | | 0.2% | 0.5% | raw | | | |
| A-1883RS | Emulsion with lacteous | Polyacryl -amide | Anionic / strong | 1.00 ±0.04 | 300 | 650 | 1,500 | {6~8 | 4~10 | -18 |

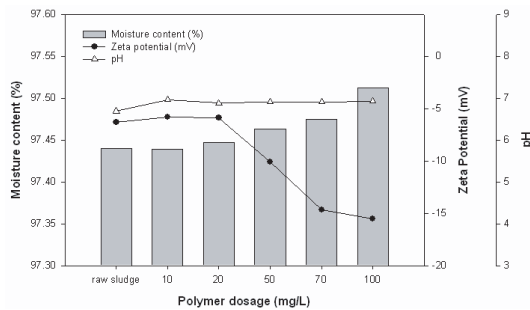


Fig. 1. Solid concentration and zeta potential with different polymer dosage.

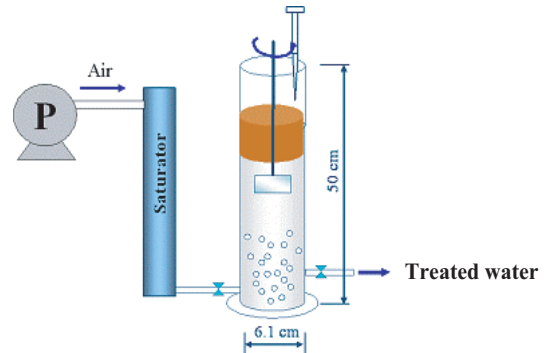


Fig. 2. Schematic diagram of thickening reactor by DAF.

색의 에멀전 상태의 아크릴아마이드(A-1883RS)를 이용하여 실험하였다. 희석된 슬러지의 농도별 pH와 제타전위, 알루미늄의 농도는 다음 **Table 2**에서 보여 주고 있다. **Table 3**에서 음이온계 고분자 응집제에 대한 특성이 설명되어 있다.

고분자 응집제 주입량은 10, 20, 50, 70, 100mg/l의 응집제를 조제한 후 각 실험마다 500ml의 슬러지 시료에 2ml의 동일한 부피로 주입하였다. 폴리머 주입량에 따른 슬러지의 함수율을 알아보기 위해 25.40 kg/m³의 원슬러지에 5가지 농도의 폴리머를 주입한 후 함수율을 측정하여 보았으며, 주입량에 따른 제타 전위 역시 측정하였다(**Fig. 1**).

2.2. 실험 도구 및 방법

DAF 부상 농축을 위한 반응조는 **Fig. 2**와 같이 높이 50cm, 내경 6.1cm의 아크릴 재질로 제작되었으며, 바닥에는 가압수를 주입시킬 수 있는 노즐을 설치하였고, 바닥으로부터 3.5cm 지점에 잔류탁도를 측정할 수 있는 배출구를 두었다. 반응조 옆면에는 슬러지의 계면의 부상을 쉽게 관찰할 수 있도록 눈금자를 붙여 측정에 용이하게 하였다.

예비실험을 통해 DAF 슬러지를 부상 농축하는데 있어서 높은 압력(Saturator pressure)과 재순환비(Recycle ratio)가 안정적임을 알 수 있었다. 이를 근거로 적정 고분자응집제 주입량 결정 및 처리효율 실험에서는 6 atm으로 가압을 시킨 가압수를 100%의

재순환비로 실험 하였으며, 이를 A/S ratio로 변환하여 농축된 총고형물 농도(TS)와 잔류탁도, 부상 계면높이, 계면높이에 의한 SVI를 측정하였다. 여기서 SVI는 부상공정의 특성상 10 분간 부상처리후의 슬러지 계면높이를 측정하여 SVI를 측정하였다.

특히, 농축에 미치는 영향을 알아보기 위하여, 5가지 인자에 대해 실험하였다. 우선 여러 농도로 희석하여 고형물 농도에 따라 실험을 실시하였다. 두 번째로 DAF 슬러지에 포함된 기포를 흡입펌프를 이용하여 흡입시간을 달리하여 슬러지 내에 포함된 기포를 제거하면서 기포함유율의 영향 실험을 하였다. 제타전위에 대한 영향을 살펴보기 위해 황산알루미늄($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$)을 각각 0, 100, 300, 500, 700 mg/L 주입하여, 황산알루미늄 주입에 따른 pH 변화와 초기 슬러지와 알루미늄 주입후, 음이온 고분자응집체 주입후에 각각 제타전위를 측정하였다. pH의 변화는 슬러지에 황산(H_2SO_4)를 주입하여 pH 2, 4, 6, 7, 9, 11로 pH를 변화시켰다. pH가 변화될 때 슬러지 입자의 제타전위도 동시에 측정하였다. 온도에 따라 입자의 부상성과 침강성이 변하므로(Lin, 1989), DAF 슬러지의 온도에 따른 부상성과 침강성을 살펴보고자 채수한 슬러지를 heater와 냉장고를 이용하여 온도를 각각 10, 20, 30, 40°C로 조절하였다. 약 5분간 각각의 온도를 유지한 뒤 부상 농축 및 침전실험 실시하였다.

본 연구에서 DAF의 모든 실험은 Fig. 2의 반응조에서 실시하였으며, 침전 실험은 500mL의 슬러지 시료를 채수하여 메스실린더를 이용해 20시간 동안 정

치하여 두고 그 후 잔류탁도와 30분 후의 계면높이를 이용한 SVI를 측정하였다.

pH는 Orion사의 550A모델, 제타전위 측정은 제타미터(Zetaphoremeter II, France)를 이용하여 각 슬러지에 대해 측정하였다. 잔류탁도는 DAF 부상농축 반응조 배출구를 통해 채수한 시료를 HACH사 2100P 모델의 탁도계를 사용하였다. 계면의 높이는 DAF 부상식 농축 반응조의 옆면에 붙여진 눈금자를 이용하여 시간별로 측정하였다.

3. 실험 결과

3.1. DAF 슬러지의 적정 고분자응집체 주입량 결정 및 처리 효율

Fig. 3(a)에서 각 고분자응집체의 주입량에 따른 SVI의 변화를 보여주고 있다. A/S ratio가 증가함에 따라 대체로 SVI는 증가하는 경향을 보이고 있었으며, 기포의 양이 고형물의 양에 비해 높을수록 슬러지의 부피는 점차 줄어들었다. 또한 고분자응집체의 주입량이 증가할수록 SVI의 변화폭은 감소하는 경향을 보이고 있었다. 그러나 폴리머 주입량에 대해 SVI의 뚜렷한 결과를 구분하기는 어려워 SVI를 이용한 고분자응집체의 적정 주입량을 결정하기는 어려움이 있다.

Fig. 3(b)의 배출수의 잔류탁도를 살펴본 결과 A/S ratio가 증가함에 따라 잔류탁도는 감소하는 경향을 보이다 다시 조금 증가하는 경향을 보이고 있었다. 또한 10, 20, 50mg/l의 고분자응집체 주입시에는 최

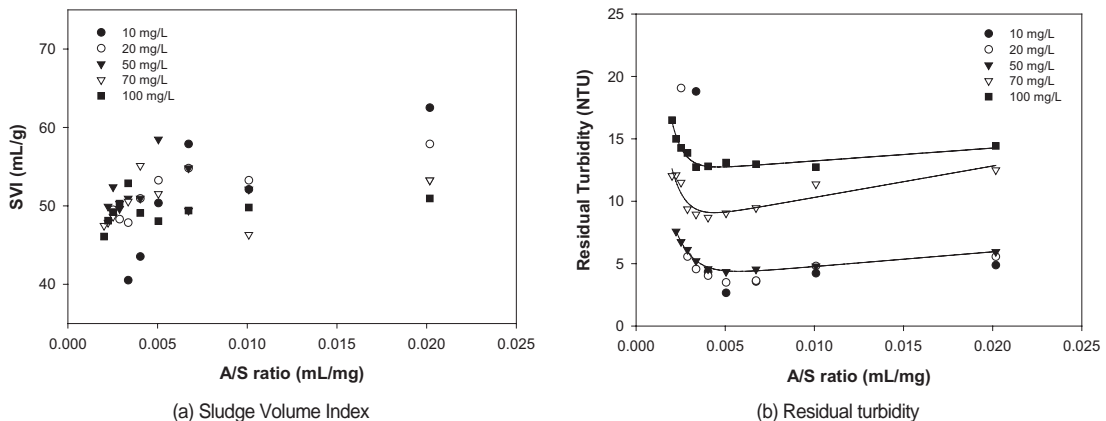


Fig. 3. The efficiency of thickening by DAF.

대 5 NTU 이하로 비슷한 잔류탁도를 보이고 있었으나, 70mg/l 이상의 경우에는 전제적으로 잔류탁도가 증가하였다. 10, 20mg/l 고분자응집제 주입의 경우에는 낮은 A/S ratio에서 20 NTU에 가까운 높은 잔류탁도를 보이는 불안정한 현상을 보였다. 잔류탁도가 A/S ratio에 민감하지 않는 안전성을 고려하여 50mg/l의 주입량이 부상농축에 적절한 고분자응집제 주입량으로 판단된다.

3.2. DAF 슬러지의 부상식 고형물 플럭스 적용

3.2.1. DAF 슬러지의 부상속도

본 연구에 사용한 DAF 슬러지를 DAF 반응조에서 부상 농축할 때 시간에 따라 슬러지의 계면 높이를 눈금자를 이용하여 측정된 결과 계면의 부상속도를 구할 수 있었다. 그 결과는 다음 Fig. 4에서 보여주고 있듯이 전제적으로 슬러지의 고형물 농도가 낮은 경우에는 부상속도가 높으며, 고형물 농도가 높은 경우에는 부상속도는 낮았다. 부상속도는 고형물 농도와 밀접한 관련이 있어 보인다. 또한, 고분자 응집제의 주입량에 따른 부상속도의 변화를 살펴본 결과, 적은 고분자 응집제 주입량(10mg/l)의 경우에는 부상속도가 가장 낮았으며, 고형물 농도가 높아질수록 부상처리가 되지 않는 경우도 발생하였다. 고분자응집제의 주입량을 점차 늘려갈수록 부상속도는 전반적으로 점차 증가하였다. 그러나, 50mg/l 이상으로 주입하였을 경우(70, 100mg/l)에는 50mg/l의 주입량의 결과와 큰 차이를 보이고 있지 않다. 이는 일정 고분자 응집제 주입량 이상이 되면 더 이상 부상속도에 큰 영향을 주지 않는 것으로 판단된다.

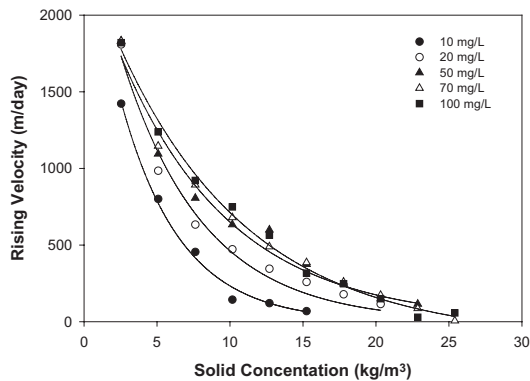


Fig. 4. The floating velocity of the interface height.

3.2.2. DAF 슬러지의 부상식 고형물 플럭스 적용

앞서 실험에 의해 산출된 DAF 슬러지의 계면 부상속도를 이용하여 고형물 농도와 부상속도와의 곱을 통해 부상력에 의한 고형물 플럭스를 계산할 수 있다. 부상식에 적용할 고형물 플럭스는 다음과 같이 기존의 고형물 플럭스에서 수정된 형태의 플럭스로 계산할 수 있다.

$$F_u = v_u \times C_i \quad (\text{eq. 3.1})$$

여기서, F_u = 상부배출에 의한 고형물 플럭스(kg · TS/m² · d)

v_u = 고형물의 상부배출속도(m/d)

C_i = 깊이 i 를 지나는 고형물농도(kg/m³)

$$F_f = v_f \times C_i \quad (\text{eq. 3.2})$$

여기서, F_f = 부상력에 의한 고형물 플럭스(kg · TS/m² · d)

v_f = 고형물농도 C_i 에서 고액계면의 부상속도(m/d)

$$F_i = F_u + F_f = v_u \times C_i + v_f \times C_i \quad (\text{eq. 3.3})$$

여기서, F_i = 부상조 깊이 i 에서 총고형물 플럭스(kg · TS/m² · d)

부상에 의한 고형물 플럭스(F_f)는 고형물 농도와 그 농도에서 고액계면의 부상속도(v_f)에 의해 결정된다. 상부 배출에 의한 고형물 플럭스(F_u)는 고형물의 상부배출 속도(v_u)와 깊이 i 를 지나는 고형물 농도(C_i)에 의해 결정되는데, 상부배출 속도는 농축조의 슬러지 제거 스크레이퍼의 운전에 의해 결정된다. 스크레이퍼 운전에 따른 농축 고형물의 제거속도에 따라 상부배출에 의한 고형물 플럭스를 변동시킬 수 있다. 그러나 현재 DAF 슬러지 처리를 위해 부상식에 의한 농축을 적용하고 있지 않으므로, 이러한 상부배출에 의한 고형물 플럭스(F_u)는 향후 농축조의 운영시 더욱 고려되어야 할 사항이다.

위에서 산출한 부상속도를 이용하여 부상식에 고형물 플럭스법을 적용해 보면, 부상력에 의한 고형물 플럭스를 실험에서 구한 부상속도와 고형물 농도를

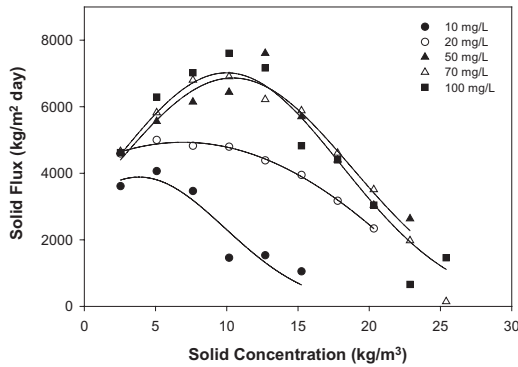


Fig. 5. The Solid Flux by flotation.

통해 아래 Fig. 5와 같이 구할 수 있었으며, 기존의 중력식에 적용되던 고형물 플럭스의 형태와 유사한 결과를 보이고 있으나 중력식에 비해 고형물 플럭스의 값은 매우 높은 값들을 나타내고 있다. 고분자응집제 주입량에 따른 플럭스를 비교해 볼 때, 폴리머 10, 20mg/l를 주입한 경우에는 플럭스의 값이 비교적 낮으나, 50, 70, 100mg/l의 경우에는 높은 플럭스 값들을 가지며, 중력식 농축에 적용되는 기존의 고형물 플럭스와 유사한 형태를 보이고 있다는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 중력식 고형물 플럭스와는 달리 고형물 농도가 매우 높은 경우 부상력이 현저하게 떨어지거나 부상이 되지 않는 경우가 발생할 수 있으므로 한계 고형물 플럭스 이상으로 운전하는 것은 슬러지의 재 침강의 우려가 있으므로 주의해야 할 것으로 판단된다.

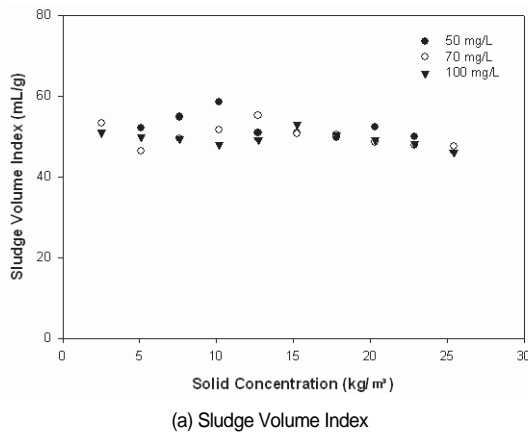
3.3. DAF 슬러지의 부상식 고형물 플럭스 적용

3.3.1. 고형물 농도에 의한 영향

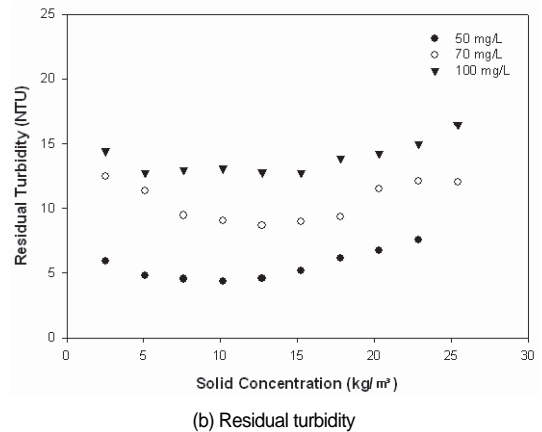
DAF 슬러지의 초기 고형물 농도에 의한 부상농축 실험결과는 다음 Fig. 6과 같다. Fig. 6(a)는 고형물 농도와 고분자응집제 주입량에 따라 SVI의 변화를 나타낸 것이다. 고분자응집제의 주입량에 따라 SVI는 큰 변화가 없었다. 고형물 농도가 높은 경우에는 고분자 응집제의 주입을 늘릴 필요성이 있으며, 같은 조건하에서 고형물 농도의 증가는 부상농축에 유리하지 않음을 알 수 있었다. Fig. 6(b)에서는 고형물 농도에 따른 처리 효율을 평가하고자 배출수의 잔류탁도를 측정 한 결과이다. 50, 70, 100mg/l의 고분자 응집제의 주입량에 따라 50mg/l의 주입량에서 가장 적합한 배출수의 탁도를 보였으며, 이 그래프에서 보여주는 것 역시 15kg/m³ 이상의 고형물 농도에서는 잔류탁도가 점차 증가하는 경향을 보여주고 있다.

3.3.2. 기포 함유량에 의한 영향

본 실험에 사용된 초기 DAF 슬러지의 기포 함유량이 낮은 상태이기 때문에 기포함유량을 세부적으로 분류하지 않고, 흡입펌프에 의해 DAF 슬러지의 공기를 제거하는 시간으로 분류하여 실험을 실시한 결과가 다음 Fig. 7에서 설명하고 있다. 전체적으로 흡입시간이 0인 경우, 즉 초기 원래의 DAF 슬러지를 사용한 경우에 비해 30, 60, 300초 동안 흡입을 시킨 슬러지들은 처리효율이 점차 감소하고 있다. 잔류탁도는 흡입시간이 늘어날수록 4.07 NTU에서 최대 5.66

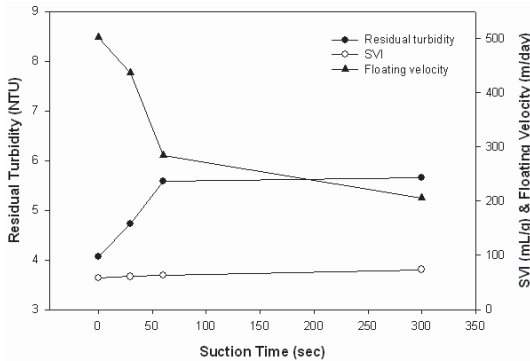


(a) Sludge Volume Index

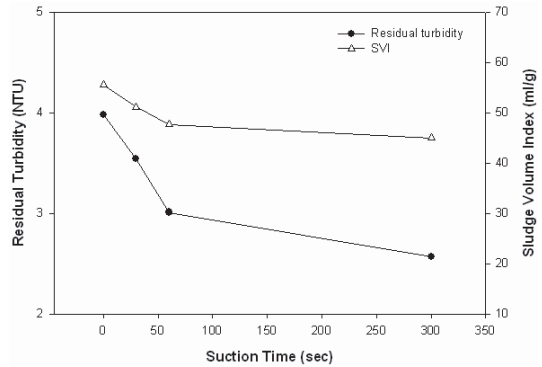


(b) Residual turbidity

Fig. 6. The effect of the solid concentration.



(a) Flotation thickening



(b) Gravity thickening

Fig. 7. The effect of the air bubble content.

NTU로 증가하는 경향을 보이고 있었다. 반면 SVI 값은 초기 58.80ml/g을 보이던 값이 73.76ml/g까지 지속적으로 증가하였으며, 부상속도 역시 초기 약 500m/day의 속도를 보이던 것이 약 200m/day정도로 감소하였다. 슬러지의 부상농축에 DAF 슬러지에 포함하고 있는 기포의 공기량이 많을수록 부상농축에 유리함을 알 수 있었다.

Fig. 7(b)는 동일한 조건으로 흡입을 시켜 DAF 슬러지내 기포의 일부 제거한 슬러지를 이용하여 실린더에서 침전실험을 실시한 결과이다. 제거된 기포의 양이 많을수록 침전에서 유리하게 작용함을 알 수 있었다. 잔류탁도는 원 슬러지의 침전후 잔류탁도가 약 4 NTU인 것에 비해 흡입시간이 가장 길었던 300초의 조건에서 2.57 NTU까지 감소하였고, SVI 역시 침전실험에서는 300초 동안 기포를 제거한 슬러지에서 약 45.0ml/g으로 가장 낮은 값을 나타냈다. 슬러지의 침전에는 DAF 슬러지내의 기포를 제거함으로써 좋은 효과를 보였다.

3.3.3. 제타전위에 의한 영향

본 실험에서는 DAF 슬러지의 제타전위를 변화시키기 위해 황산알루미늄을 주입하였으며, 다음 Fig. 8은 황산알루미늄 주입량에 따른 제타전위와 pH의 변화를 나타내고 있다. 주입된 황산알루미늄의 양에 따라 제타전위는 -12.95mV에서부터 11.03mV까지의 범위를 보였으며, 이에 따른 pH는 7.33에서 5.58까지 감소하였다.

DAF 슬러지를 부상농축 시켰을 때, 대략 등전위점

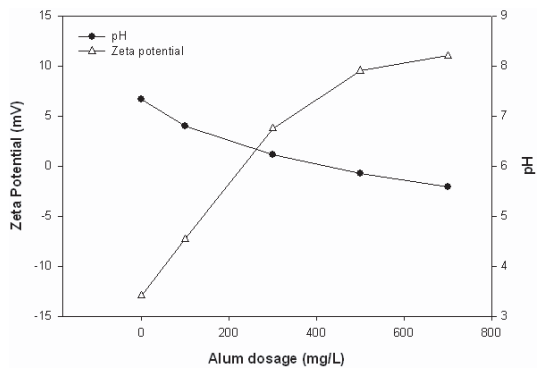
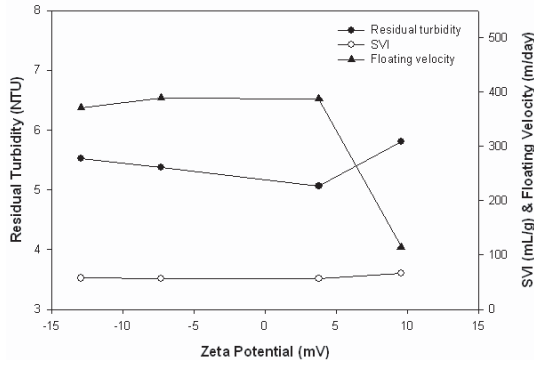


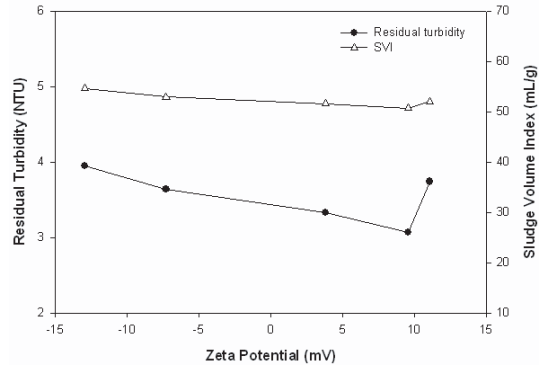
Fig. 8. The variety of Zeta potential and pH through alum dosage.

근처에서 부상효율이 높음을 알 수 있었다(Fig. 9(a)). 배출수의 잔류탁도는 제타전위가 3.77mV를 보이는 점에서 5.06 NTU로 가장 낮은 값을 보였으며, -7.3mV를 보이는 지점 근처에서 SVI는 56.02 ml/g로 낮은 값을, 부상속도는 389.91m/day로 가장 높은 수치를 보이고 있었다. 결과적으로 -10~10mV 되는 지점에서 가장 좋은 효율을 보이고 있었으며, 반면에 높은 (+)전하를 띄는 경우에는 처리효율이 다시 감소하고 있었다.

제타전위에 의한 침전실험은 Fig. 9(b)에서 나타내듯이 (-)전하에서 (+)전하로 이동할수록 점차 침전효율이 좋아짐을 알 수 있었다. 부상실험에서와는 달리 +9.53mV의 전위 하에서 가장 낮은 배출수의 잔류탁도를 보였고, SVI 값 역시 50.70ml/g으로 가장 낮은 수치를 보였다. 그러나 황산알루미늄의 양이 700mg/l로 +11.03mV의 전위를 보이는 지점에서 다



(a) Flotation thickening



(b) Gravity thickening

Fig. 9. The effect of the zeta potential.

시 배출수의 탁도와 침전율이 감소하였다.

3.3.4. pH에 의한 영향

Fig. 10은 pH에 따른 DAF 슬러지의 특성을 살펴 보기 위하여 pH에 따른 제타전위의 변화를 측정 한 결과이다.

DAF 슬러지를 각각 pH 2, 4, 6, 7, 9, 11 상태로 변화시킨 후 부상농축 실험을 실시한 결과 Fig. 11(a)과 같이 나타났다. 배출수의 탁도는 중성과 약산성 영역에서 5.1~5.3 NTU 정도로 가장 낮은 수치를 나타내었다. 그러나 이 영역에서 SVI는 58.30~58.82mL/g로 가장 높은 값을 나타냈고, 부상속도는 360~380m/day로 가장 낮은 값을 보였는데, 지금까지의 연구로 추론해볼 때 부상식 농축에서 SVI가 낮을수록, 부상속도가 높을수록 처리효율이 높았다. 그러나 pH에 따른 부상식 농축실험의 결과 값을 통해 SVI와 부상속도는 처리효율을 결정하는 측정항목으로써는 한계가 있음을 알 수 있다. 강산과 염기성 상태에서의 배출수는 매우 높은 잔류탁도를 나타내고 있어서 적절한 처리가 되었다고 보기 어렵다. 특히 pH 2 영역에서는 슬러지의 부피가 급격하게 감소하였으며, pH 4에서의 부상 실험은 부상농축이 일어나지 않았다. 이는 DAF 슬러지를 부상 농축하는데 사용된 고분자 응집제가 강산과 강염기성의 범위에서는 적절히 반응하지 못하는 것으로 사료된다. 중성과 약산성 영역에서 부상식 농축을 적용할 수 있음을 알 수 있었다.

침전에 의한 실험 역시 Fig. 11(b)에서 보여주듯이

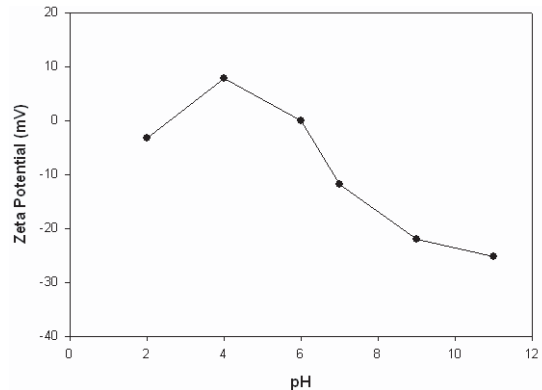


Fig. 10. The variety of the zeta potential through pH.

중성과 약산성 영역에서 배출수의 잔류탁도가 가장 낮은 값을 보이고 있었으며, 강산과 강염기성 영역에서는 처리효율이 감소하였다. DAF 슬러지를 처리에 있어서 침전 역시 중성과 약산성 영역이 유리한 것으로 판단된다.

3.3.5 온도에 의한 영향

온도에 의한 DAF 슬러지의 부상농축 실험 결과는 Fig. 12(a)에서 나타내고 있다. 온도가 높을수록 잔류탁도와 부상속도는 낮아지고, SVI는 높아지는 경향을 보이고 있었다. 과거 연구를 통해 온도가 올라갈수록 물의 점성이 낮아지고, 입자의 침전성과 약품의 용해성은 증가하며, 부상공정의 효과는 증가한다고 알려져 있다(Lin, 1989). 따라서 온도가 높을수록 SVI는 증가하고 부상속도는 감소하는 경향을 보이고

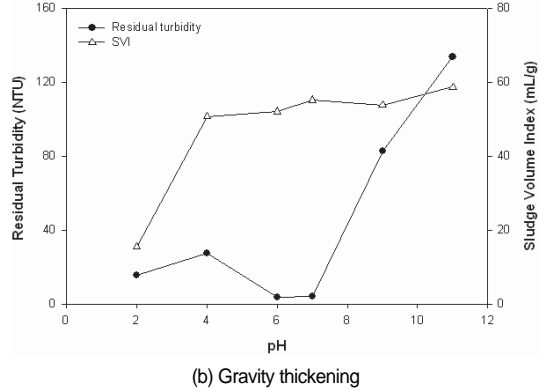
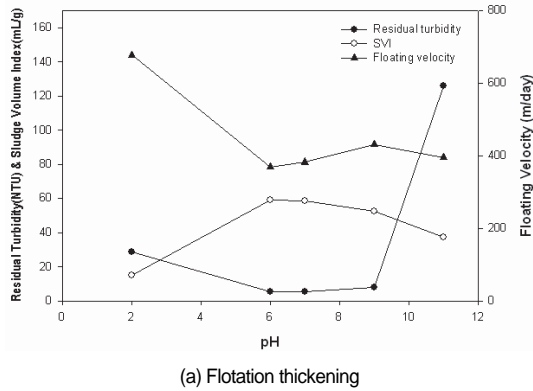


Fig. 11. The effect of pH.

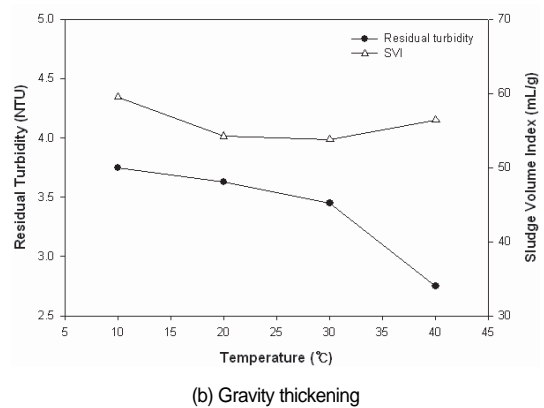
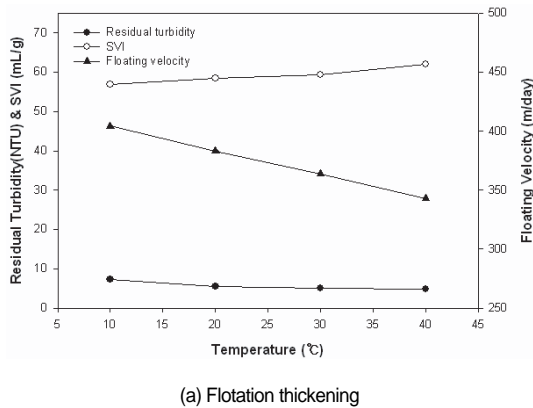


Fig. 12. The effect of temperature.

있으며, 입자의 활동성이 증가로 처리효율은 증가하는 것으로 사료된다. 온도의 영향을 살펴볼 때 SVI와 부상속도가 잔류탁도의 처리율이 반드시 비례관계에 있지는 않았다.

DAF 슬러지를 침전시켰을 때의 결과는 Fig. 12(b)에서 볼 수 있듯이 높은 온도일수록 잔류탁도와 SVI는 대체로 감소하는 경향을 보여주고 있다. 부상에서의 결과와 마찬가지로 높은 온도에서는 잔류탁도는 낮아지고, SVI 역시 감소하는 경향을 보인다. 그러나, 낮은 온도에서는 잔류탁도는 증가하고, SVI 역시 증가한다.

4. 결 론

정수장에서는 일반적으로 중력 침강식을 이용한

농축조가 사용되어 왔다. 침전지에 의해서 입자를 제거하여 왔기 때문에 침전지에서 발생한 슬러지는 침전에 용이한 상태를 보인다. 그러나 현재 DAF 공정에서 발생하는 미세기포가 포함된 슬러지의 농축처리에 있어서는 기존의 침전 농축조 이용시 높은 효율을 기대하기 어려운 상황이다. 본 연구는 이러한 문제들을 해결하기 위하여 DAF 공정에서 발생하는 슬러지를 이용하여 용존공기부상(DAF)법을 통한 부상식 농축을 적용하였을 때 본 연구의 실험조건에서 적정 폴리머 주입량은 50mg/l가 적합하였으며, 중력 침전식에서만 이론적인 근거로 사용되어 왔던 고형물 플럭스법을 부상식에도 적용한 결과 슬러지 계면의 부상을 시간에 따라 측정하고 이를 이용하여 계면의 부상속도를 산출할 수 있었고, 산출된 부상속도와 고형물의 농도를 통해 중력식에서 사용되는 고형물 플럭

스와 유사한 그래프를 실험적으로 구할 수 있었다. 그러나 부상속도가 중력농축의 침강속도에 비해 매우 높으므로 전체적인 고행물플럭스는 높은 값을 보였다. 이를 바탕으로 향후 부상식 농축조를 설계시 상부배출속도에 의한 운전조건을 고려하여 한계 고행물 플럭스를 도출할 수 있을 것으로 판단되며, 주로 사용되고 있는 하수슬러지의 부상농축에도 적용해 볼 필요가 있을 것으로 사료된다. 또한, DAF 슬러지의 부상 및 침강 특성을 알아보기 위한 실험에서는 고행물 농도가 낮을수록, 기포를 함유하고 있는 양이 많을수록, $-10\sim 10\text{mV}$ 사이의 전위상태 일수록, 중성과 약산성 상태일수록, 부상력이 증가하여 효율이 증가하였다. 그러나 온도가 낮을수록 부상력은 증가하지만 처리효율은 낮아졌다.

참고문헌

1. American Water Works Association(1999) *Water Quality and Treatment* 5th Ed, McGraw Hill, pp. 7.13-7.16 .
2. Arora, H., DeWolfe, J.R., Lee, R.G., Grubb, T.P. (1995) Evaluation of Dissolved Air Flotation Process for Water Clarification and Sludge Thickening, *Wat. Sci. Tech.* 31(3-4), pp. 137-147 .
3. Bratby, J.R, Ambrose, W.A. (1995) Design and control of flotation thickeners, *Wat. Sci. & Tech.* 31(3-4), pp. 247-261 .
4. Chung, T.H., Kim, D.Y.,(1995) Significance of Pressure and Recirculation in Sludge Thickening by Dissolved Air Flotation, *Wat. Sci. Tech.*, 36(12), pp. 223-230 .
5. Dockko, S., Park, S.C., Kwon, S.B., Han M.Y. (2006) Application of the flotation process to thicken the sludge from a DAF plant, *Wat. Sci. Tech.* 53(7), pp. 159-165 .
6. Haarhoff, J., Van Vuuren, L.R.J., (1995) Design parameter for dissolved air flotation in South Africa, *Wat. Sci. Tech.* 31(3-4), pp. 203-212.
7. Kalinske, A.A., Evans, R.R. (1953) Comparison of Flotation and Sedimentation in Treatment of Industrial Wastes, *Proceeding of Industrial Waste Conference* 8th, pp. 64-71 .
8. Lin, I.J. (1989)The effect of seasonal variation in temperature on the performance of mineral processing plants, *Minerals Engineering*, 2(1), pp.47-54 .
9. Metcalf & Eddy (1991) *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse* 3rd. Ed., McGraw Hill, pp. 412-414 .
10. Zabel, T. (1985) The Advantages of Dissolved-Air Flotation for Water Treatment, *Journal of AWWA*, 77(5), pp. 42-45
11. 이준, 한무영, 독고석, 박용효, 김충일, 김미경 (2005) 전해부상에 의한 상수 슬러지 부상효율, *상하수도학회지*, 19(2) , pp. 155-160.