

슬러지의 성상이 DAF(Dissolved Air Flotation)를 이용한 팽화 슬러지 농축에 미치는 영향

김동석 · 박영식^{*†}

대구가톨릭대학교 환경과학과

^{*}대구대학교 보건과학부

Effect of Sludge Characteristics on the Thickening of Bulking Sludge using DAF (Dissolved Air Flotation)

Dong-Seog Kim · Young-Seek Park^{*†}

Department of Environmental Science, Catholic University of Daegu

^{*}Division of Health Science, Daegu University

(Received 5 September 2005, Accepted 13 October 2005)

Abstract

Excess sludge treatment and disposal currently represent a rising challenge for domestic or wastewater treatment plants due to economic, environmental and regulation factors. Conventional gravity sedimentation process has been widely used in sludge thickening. The operation method of the process is very simple, but the process requires long detention time for sludge thickening, uses polymers, and shows low sludge thickening efficiency. To solve the problems, we studied on DAF (Dissolved Air Flotation) system. We use bulking sludge of a paper manufacturing plant. The effects of parameters such as SVI (Sludge Volume Index), storage time, initial concentration and wet density of excess sludge were examined. The results showed that the more SVI was low, the more sludge was thickened. As storage time goes by, SVI was increased and thickening performance was deteriorated. In order to improve flotation performance at high concentration, high recycling ratio and pressure did not increase the concentration due to thickening limitation. The addition of 0.8 g/L of loess was increased flotation efficiency of 1.41 times.

keywords : Bulking sludge, Dissolved Air Flotation (DAF), Sludge Volume Index (SVI), Storage time, Wet density

1. 서 론

하 · 폐수 슬러지의 발생량은 물 사용량이 증가함에 따라 매년 증가하고 있으며 슬러지 처리비용이 전체 처리비용의 25-50% 정도를 차지할 만큼 슬러지 처리에 상당한 비용이 소요되고 있다(정 등, 2004).

국내외에 실용화되어 있는 슬러지 처분기술은 해양투기, 매립, 소각, 용융, 고화, 건조, 열분해, 고화, 퇴비화 등이 있는데, 슬러지 처리방법 중 금지되는 해양투기와 매립을 제외한 다른 방법들을 적용하기 위해서는 슬러지 내의 함유물이 문제가 된다(권 등, 2001).

효율적인 슬러지 농축법은 슬러지 감량화와 후속처리의 부하를 경감시키는데 있어 매우 중요한 공정이다(문 등, 2002).

슬러지의 수분을 제거하는 방법 중에서 슬러지 농축(thickening), 개량(conditioning), 탈수(dewatering), 건조(drying) 등의 공법은 일차적으로 슬러지의 수분을 제거하는데 이용되며, 수분 제거 공정 중에서 농축 공정은 슬러지로부터

터 액체의 일부를 제거하여 슬러지의 고형물 함량을 높이는 과정이다. 농축은 일반적으로 증력침전, 부상, 원심분리 등의 물리적인 방법을 이용하여 이루어지며, 슬러지 자체의 증력을 이용한 농축은 주로 1차 슬러지에 적합하다고 알려져 있으며, 슬러지 밀도가 1.01-1.09 g/cm³인 2차슬러지인 잉여슬러지에는 좋은 방법이 아닌 것으로 보고되고 있다(Choi et al., 2000).

특히 팽화가 일어나 침전성이 저하된 슬러지는 증력 농축이 거의 불가능하다고 할 수 있다. 따라서 2차슬러지의 농축은 생물학적 고형물의 부상을 통한 농축이나 원심분리에 의한 기계적인 농축이 비교적 적합하다고 할 수 있다(최 등, 2005).

용존공기부상법은 부상 농축법 중의 하나로 가압상태에서 과포화된 물을 감압시킬 때 발생하는 미세기포가 상승하는 과정에서 수중의 콜로이드 물질과 충돌 · 부착되는 원리를 이용하여 수중의 부유물질을 제거하는 수처리 방법이다(김 등, 2001).

용존공기부상법(Dissolved Air Flotation, DAF)은 정수처리 시스템에서 최종공정인 여과의 전처리 공정으로 기존의 침전공정을 대체할 수 있는 효과적인 대안으로 부상하고 있으며 특히 저탁도, 부식질(humic substances) 또는 자연적

[†]To whom correspondence should be addressed.
ysparkk@daegu.ac.kr

인 색도나 조류 등을 함유한 원수의 처리에 유용한 공정으로 알려져 있다(Zabel, 1985; 유 등, 2003; 조, 2001).

아울러, 제지 및 식품폐수 등의 생물학적 폐수처리 시설에서 뿐만 아니라 하수처리 공정에 있어서도 플록의 부상분리와 슬러지 농축에 DAF 공정이 적용되고 있다. DAF 공정을 생물학적 폐수처리시설에 도입하면 기존의 생물학적 수처리공정에서 많은 동력비와 유지관리상 어려움을 유발하고 있는 다음과 같은 문제를 해소하고 여러 가지 효과를 얻을 수 있다.

- 1) 원수 중에 함유된 가벼운 물질의 용이한 고액분리와 더불어 미생물 플록의 비중을 CGS(Conventional Gravity Sedimentation)에 비하여 보다 크게 증가시킬 필요가 없으며,
- 2) 기존 부유성장 폐수처리시스템의 가장 대표적인 문제점인 슬러지 팽화(bulking) 문제를 해소시키거나 용이하게 제어할 수 있게 되고(곽 등, 2004),
- 3) DAF 노즐에서 분사되는 미세한 기포로부터 용해되는 산소는 그 용해효율이 뛰어나 폭기조 미생물의 생장에 훨씬 유리하게 된다.

DAF에서 슬러지의 고흡분리에 영향을 주는 인자는 슬러지의 성장과 농도, 유입폐수의 질과 양, A/S비, 압력, 체류시간, 온도, 반송 슬러지 량, 응집제의 종류와 질 등이다(양 등, 1985).

본 연구는 DAF를 이용한 팽화 상태에 있는 슬러지 농축에서 슬러지의 성장과 관계되는 슬러지의 SVI, 보관시간, 농도 및 밀도가 부상공정에 미치는 영향을 고찰하였다.

2. 실험 재료 및 방법

2.1. 실험재료

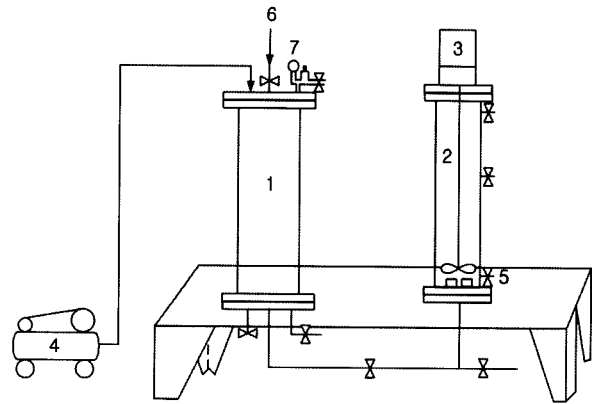
실험에 사용한 슬러지는 M 제지사의 반송슬러지를 채취하여 sieve로 체질한 뒤 폭기조에 보관하였다. 슬러지는 인공 합성원수에 순용시켜 실험에 사용하였다.

M 제지사는 응집·침전 + 활성슬러지법으로 폐수를 처리하고 있는데, SS 부하량이 많고 SS가 가볍기 때문에 floc 강도가 낮으므로 단순한 침전으로는 처리하기 어렵다. 또한 제조하는 지층에 따라 cellulose의 종류, 크기, 화학약품 등이 다르므로 배출하는 폐수의 특성이 수시로 변하기 때문에 처리에 어려움이 많고, 슬러지 팽화가 자주 일어나 제어하기 어렵다(김, 2005; 정, 1998).

실험에 사용한 M 제지사의 반송슬러지는 순용 후 SVI를 측정된 결과 350-450 mL/g 나타내어 팽화가 발생한 상태였고, 농도는 2000-2500 mg/L의 범위에 있었으며, 평균 반송슬러지 농도인 2200 mg/L를 기준으로 실험하였다.

2.2. 실험장치 및 실험방법

실험에 사용한 DAF 장치는 크게 가압수조와 부상수조로 나뉘며, 이를 Fig. 1에 나타내었다. 가압수조(Air dissolving tank)는 내경이 15 cm, 높이가 50 cm으로써, 총 부피는 8.83 L이고, 스테인리스 스틸로 제작되었고, 상부는 공기



1. Air dissolving tank
2. Flotation column
3. Motor
4. Air compressor
5. Sampling port
6. Recycle water
7. Safety valve

Fig. 1. Schematic diagram of DAF system.

유입구, 수도수 유입구 및 안전변으로 이루어져 있고, 하부는 배출구, 부상수조로의 유출구로 이루어져 있으며, 길이와 외경이 18 mm인 PVC 파이프를 100% 충전하여 실험하였다. 부상수조는 내경이 7 cm, 높이가 50 cm이며, 총 부피는 1.92 L이다. 부상수조의 상부는 모터와 감속기가 달려 있으며 속도 조절장치에 의하여 속도를 조절하며, 부상수조는 내부를 관찰하기 위하여 아크릴로 제작하였다.

가압수조는 수돗물을 사용하였으며, 예비실험에서 팽화 슬러지의 부상에서 최적조건으로 나타났던 가압수 순환비는 20%(A/S 비, 7.070×10^{-3} mL/mg), 가압수조 압력은 5 atm, 가압수 주입시간은 25초, 부상시간은 30분으로 조절하여 실험하였다(박, 2005).

2.3. 분석 및 측정

농축된 슬러지는 부상이 끝난 뒤 슬러지 계면 상부에서 피펫을 이용하여 채취한 뒤 농도를 측정하였으며, 부상수조 하부의 슬러지는 부상수조 하부 5 cm지점의 채취구에서 50 mL를 폐기하여 남아있는 전 실험의 슬러지를 제거한 후 10 mL 채취하여 농도를 측정하였다. 슬러지 농도는 Standard Methods에 따라 측정하였다(APHA, 1992).

슬러지의 농축이 진행됨에 따라 슬러지가 부상수조 윗부분으로 부상하기 때문에 부상수조 윗부분부터 슬러지 계면이 형성된다. 계면이 형성된 후 부상수조 윗부분부터 줄자를 이용하여 계면높이를 측정하였다. 농축 슬러지의 농도 측정을 위해 5 mL의 시료를 채취하면 3 mm의 계면높이 손실이 발생하므로 20분 이후의 시료채취시간에서는 슬러지 계면높이 측정시 이를 보정해주었다.

SVI(Sludge Volume Index)는 1 L 메스실린더를 이용하여 농도를 미리 측정된 슬러지를 투입시킨 뒤 30분 침강시킨 후 슬러지-물 계면 부피를 측정하여 SV와 MLSS 농도를 측정하여 Standard Methods에 따라 측정하였다(APHA, 1992).

일반적으로 밀도의 경우 대상 입자의 부피와 질량을 측정하여 결정할 수 있으나 입자의 부피가 기하학적으로 정의되어 있지 않은 입자의 경우는 비중병(pyknometer)을 이용하여 결정한다. 시료에서 고형분을 분리하기 위하여 3000 rpm으로 운전되는 원심분리기에서 10분간 원심분리시키고 GF/C여과지를 이용하여 5분간 여과시킨 후 분리된 슬러지 고형성분을 사용하여 식 (1)을 이용하여 계산하였다 (Allen, 1981).

$$\rho_s = \frac{M_3 - M_1}{[M_2 - M_1] - [M_4 - M_3]} \times \rho_w \quad (1)$$

- M₁ : 비중병 무게 (g)
- M₂ : 비중병 무게 + 증류수 무게 (g)
- M₃ : 비중병 무게 + 활성슬러지 pellet 무게 (g)
- M₄ : 비중병 무게 + 활성슬러지 pellet 무게 + 증류수 무게 (g)
- ρ_s : 활성슬러지 습윤밀도 (g/mL)
- ρ_w : 해당 온도의 물 밀도 (g/mL)

3. 결과 및 고찰

3.1. 슬러지의 SVI가 부상에 미치는 영향

활성슬러지 공법에서 가장 일반적인 운전상의 문제점은 최종침전지에서 부적절한 고-액 분리이다. 슬러지의 SVI가 기준(도시 폐수를 처리하는 산기식 폭기 활성슬러지 공법에서 SVI는 50-150 mL/g, 기계식 폭기 활성슬러지 공법에서는 SVI는 200-300 mL/g)보다 높으면 부유물질과 BOD에 대해서 유출수 수질저하가 예상되며(서 등, 1998), SVI가 높은 슬러지는 슬러지의 농축에 있어서도 중요하다.

실험에 사용한 제지공장의 반송슬러지를 현미경으로 관찰한 결과 원생동물은 관찰되지 않았으며 사상성 미생물이 많이 관찰되었고, SVI는 350-450 mL/g의 범위에 있어 일반적으로 슬러지 팽화의 기준보다 대부분 높은 상태로써 팽화 상태에 있어 슬러지의 농축이 항상 문제가 된다.

제지슬러지에 하수슬러지 비율을 바꾸면서(0-60%) 혼합하여 약 2200 mg/L로 농도를 조절하고 슬러지의 SVI를 130-450 mL/g로 변화시킨 후 실험한 결과를 Fig. 2에 나타내었다.

Fig. 2에서 보듯이 SVI가 450 mL/g인 원 제지슬러지를 부상시켰을 때 부상에 의한 농축 슬러지 농도는 10560 mg/L로 나타나 원 제지슬러지의 농축정도는 부상의 경우 4.9배로 나타났다. 하수슬러지 비율이 높아지면서 농축 슬러지 농도가 높아지고 계면높이가 감소하는 경향을 보였으며 SVI가 130 mL/g인 경우(하수슬러지 첨가율 : 60%) 농축슬러지 농도는 15980 mg/L까지 증가하여 SVI가 450 mL/g인 경우와 비교하면 농축이 1.51배 증가하여 슬러지의 SVI는 부상공정에 중요한 요소라고 사료되었다.

하부수의 슬러지 농도범위는 120(SVI : 130 mL/g)-250 mg/L(SVI : 450 mL/g)로 나타났으며, SVI가 낮을수록 하부수의 슬러지 농도가 낮아지는 경향을 나타내었다.

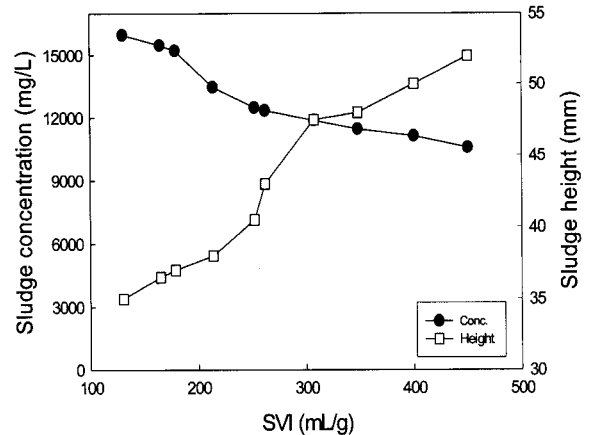


Fig. 2. Effect of the SVI on the sludge concentration and interface height.

3.2. 슬러지의 보관이 부상에 미치는 영향

슬러지를 농축시키기 위해서 농축조 등에서 냄새를 유발할 정도의 혐기성 상태로 되지 않는 한에서 0.5일에서 2일 정도 체류시켜 중력 농축조에서 농축시키는 것이 일반적인 방법이다(EPA, 1979). 슬러지를 혐기 보관하게 되면 슬러지가 포함된 액층의 탁도와 DOC(Dissolved Organic Carbon)가 증가하게 되며 비표면적이 변화하게 된다(이, 1998).

슬러지를 상온에서 교반 없이 보관하여 보관시간이 부상을 이용한 슬러지 농축에 미치는 영향을 고찰하였다. Fig. 3에 슬러지의 보관에 따른 MLSS, MLVSS 및 SVI 변화를 나타내었다. Fig. 3에서 보듯이 초기농도 2230 mg/L에서 시간이 지남에 따라 MLSS 농도가 감소하여 8일 경과시 1250 mg/L로 감소하였으며, MLVSS 농도도 초기의 1730 mg/L에서 950 mg/L로 감소되었다. VSS/SS비도 초기의 77.6%에서 76.0%로 감소되는 경향을 보였다. SVI의 경우 초기의 350 mL/g에서 8일 경과시 542 mL/g로 크게 증가하는 경향을 보였다. 슬러지를 육안으로 관찰한 결과 2일 경과 후 슬러지 색이 회색으로 변하기 시작하였고, 냄새가 나기 시작하였다. 4일 경과 후 슬러지 색이 회색으로 완전히 변하였으며 냄새가 많이 났고 6일 경과 후 완전히 검게 변하였다.

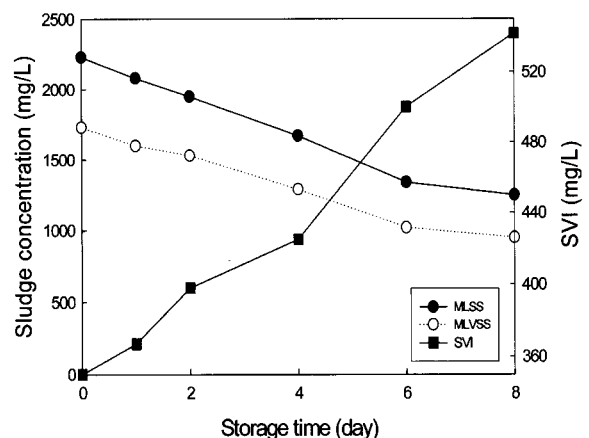


Fig. 3. Variation of MLSS, MLVSS and SVI with storage time.

Sørensen 등(1996)은 활성슬러지가 혐기화되면 플럭구조가 느슨해지고 사상성 미생물의 증가로 밀도가 낮아진다고 보고하였으며, 이(1998)는 하수슬러지는 130시간의 혐기보관 후 막대모양의 사상성 박테리아와 분산된 미생물 덩어리가 많이 관찰되었으며 SVI의 경우 초기의 165 mL/g에서 130시간 경과시 276 mL/g로 증가하였다는 보고한 결과와 유사한 결과를 얻었다.

슬러지 보관에 따른 농축된 슬러지 농도와 슬러지 계면높이 변화를 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 3과 4에서 보듯이 슬러지 보관기간이 길수록 SVI가 증가하고 그에 따라 슬러지 계면높이가 증가하고 농축되는 슬러지 농도가 낮아지는 결과를 얻어 농축조에서 슬러지를 농축하기 전에 부상공정에 의하여 슬러지를 먼저 농축한 뒤 농축조로 유입시키는 것이 타당하다고 사료되었다.

이(1998)는 슬러지의 보관시간 증가(0-130시간)에 따라 슬러지의 제타전위가 -9.6 mV에서 -3.1 mV로 감소하고, 슬러지 비표면적이 사상성 미생물 증가에 의해 123.6 m²/g에서 192.8 m²/g로 증가되어 Rhodamine B의 흡착량이 증가한다고 보고하였다. 독고(1998)는 미세기포의 제타전위는 항상 음의 값을 가지고 있으며 미세기포와 입자의 제타전위가 반대일 때 정전기적 인력으로 인해 충돌계수가 높아 부상분리효율이 높다고 보고하였다.

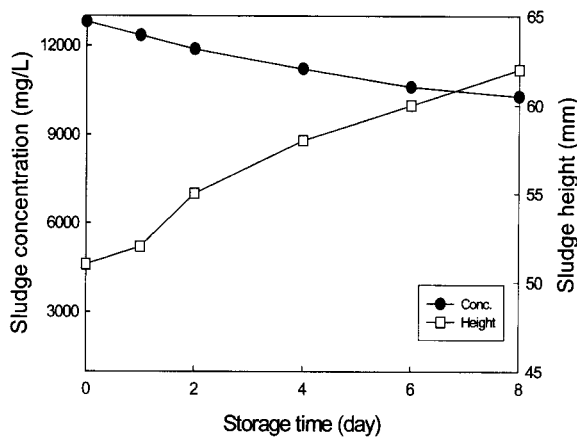


Fig. 4. Effect of the storage time on the sludge concentration and interface height.

이(1998)와 독고(1998)의 결과와 비교할 때 슬러지의 보관으로 인해서 비표면적이 넓어져 기포와 슬러지 플록의 접촉효율이 높아지고 슬러지 입자의 제타전위 감소로 인해 부상효율의 증가요인이 발생하지만 사상성 미생물 증가로 인한 SVI 증가효과로 부상효율이 떨어진다고 사료되었다.

부상공정에서 하부수의 슬러지 농도는 100-240 mg/L이었으며, 보관시간에 따른 경향은 보이지 않았다.

3.3. 슬러지 농도가 부상에 미치는 영향

초기 슬러지 농도가 높을 경우 가압수 주입 후 부상에 소요되는 시간이 약 2200 mg/L의 초기농도에서 최적 부상시간인 30분보다 길어질 것으로 예상하여 초기 슬러지 농

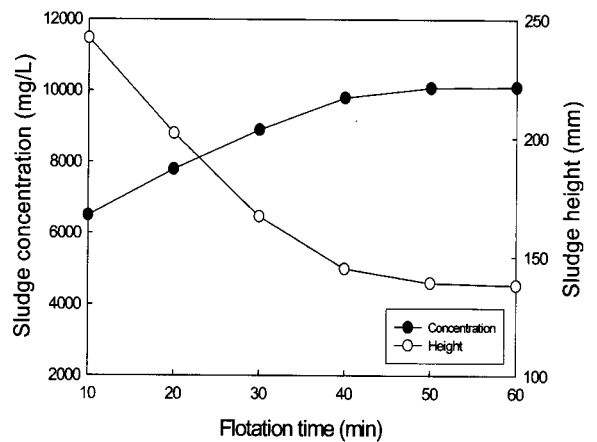


Fig. 5. Effect of the flotation time on the sludge concentration and interface height at high sludge concentration.

도가 5860 mg/L인 경우에 대해 부상시간에 따른 슬러지 농도와 슬러지 계면 높이에 대해 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5에서 보듯이 초기 슬러지 농도가 5860 mg/L인 경우 부상에 소요되는 시간은 40분 이상이 소요되는 것으로 나타났다. 슬러지 계면 높이의 경우 10분일 때 242 mm이었으며, 40분까지 농축 슬러지 농도가 선형적으로 감소하다 40분 이후부터는 서서히 감소하는 경향을 보였다. 예상한 바와 같이 슬러지 농도가 높으면 슬러지의 플록과 기포 접촉에 시간이 소요되기 때문인 것으로 사료되었다. 슬러지 농도 실험에서는 50분의 부상시간을 채택하여 실험하였다.

슬러지 농도를 2200, 3770, 5860, 7060, 8500, 9500 및 11260 mg/L로 변화시키면서 최적 부상조건에서 실험하여 슬러지 농도와 슬러지 계면높이를 Fig. 6에 나타내었다.

Fig. 6에서 보듯이 초기 슬러지 농도가 2200 mg/L일 때 농축된 슬러지 농도는 12800 mg/L이었으나 슬러지 농도가 3770 mg/L로 증가하면서 농축된 슬러지 농도는 11520 mg/L로 감소하였으며, 슬러지 농도가 8500 mg/L로 증가하면서 10580 mg/L로 감소하는 등 초기 슬러지 농도가 증가할수록 농축 슬러지 농도가 감소하는 경향을 나타내었다. 초기 슬러지 농도가 9500 mg/L에서는 2-3 cm 부상하는데

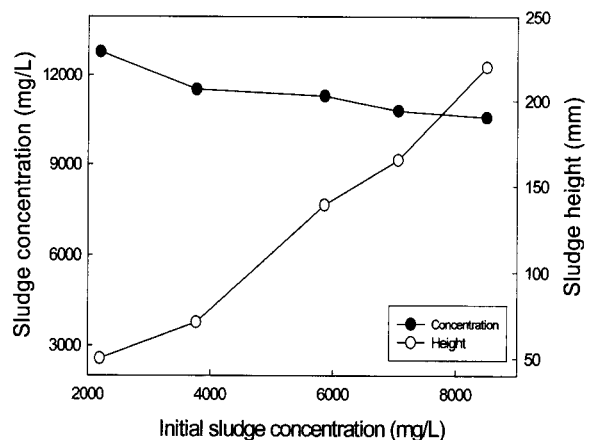


Fig. 6. Effect of the initial sludge concentration on the sludge concentration and interface height.

그쳤으며, 11260 mg/L에서는 전혀 부상하지 않았다.

Fig. 6에서 보듯이 초기 슬러지 농도가 증가하면서 50분간의 부상시간이후 슬러지 계면 높이를 측정한 결과 초기 슬러지 농도에 따라 계면 높이가 선형적으로 증가하여 초기 슬러지 농도 2200 mg/L일 때 50 mm의 계면높이에서 8500 mg/L의 경우 220 mm로 4.42배 높아졌는데, 초기 슬러지 농도비인 3.9배와 유사하게 나타났다. 이는 동일한 조건에서 실험할 경우 농축한계가 존재하며, 초기 슬러지 농도가 얼마이던지 농축할 수 있는 최대 한계이상으로는 농축이 어렵기 때문에 초기 슬러지 농도가 높은 경우 슬러지 계면 높이가 증가한다고 사료되었다.

이(2004)는 DAF를 이용한 상수슬러지 농축에서 초기 슬러지 농도가 15500 mg/L이상일 경우 슬러지 농축이 일어나지 않고 부상한 슬러지가 다시 가라앉는 재침전과 부유상태로 존재하는 현상이 존재한다고 보고한 결과와 비교하면 슬러지 성상이 다르고 부상 농축가능한 초기 슬러지 농도가 다르지만 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

슬러지 농도가 높을 경우 A/S비가 낮아지기 때문에 A/S비를 높이기 위해서는 압력을 높이거나 부상수조에 공급해야 하는 가압수의 순환비를 높일 필요가 있다.

Fig. 7에 초기 슬러지 농도가 7670 mg/L인 슬러지를 대상으로 부상효율을 높이기 위하여 가압수 순환비를 20-45%로 변화시켜 다른 조건일 일정하게 유지하면서 부상시간을 50분으로 하고 실험하여 결과를 나타내었다.

Fig. 7에서 보듯이 순환비가 20%에서 40%로 증가하면서 슬러지 농도는 11730 mg/L에서 13300 mg/L로 1.13배 증가하였다. 그러나 순환비가 45%와 50%로 증가하면서 농도는 각각 13500 mg/L와 13600 mg/L로 증가가 현저하게 둔화되어 최적 순환비는 40%로 나타났다. 농도가 높은 슬러지의 농축을 위해서 순환비를 높이는 것은 농축 효과가 적기 때문에 부상수조의 압력을 높이거나 다른 방법을 사용하여야 한다고 사료되었다.

40%의 가압수 순환비에서 가압수의 압력을 5-7 atm으로 증가시켜 부상효율 증진효과를 고찰하여 Fig. 8에 나타내었다.

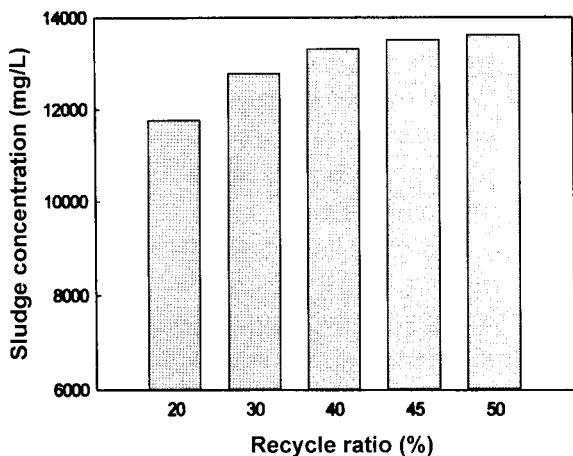


Fig. 7. Effect of the recycle ratio on the sludge concentration at high sludge concentration.

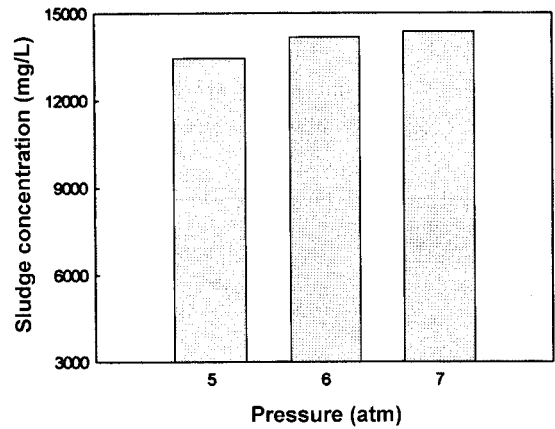


Fig. 8. Effect of the pressure on the sludge concentration at high sludge concentration.

Fig. 8에서 보듯이 5 atm에서의 농축 슬러지 농도 13400 mg/L에서 7 atm의 경우 14340 mg/L로 나타나 압력을 높이는 것은 효과가 없는 것으로 나타났다.

3.4. 슬러지 습윤밀도가 부상에 미치는 영향

일반적인 활성슬러지 플록의 밀도는 원심분리속도에 따라 달라지지만 1000-20000 rpm로 운전되는 원심분리기에서 측정된 활성슬러지의 습윤밀도는 1.01-1.04 mg/L이다 (이, 1998). 본 실험에서는 황토를 첨가하여 슬러지 밀도를 변화시켜 슬러지의 습윤밀도가 부상에 미치는 영향을 고찰하였다.

황토 투입량을 0.2-5 g/L로 조절하면서 슬러지의 습윤밀도와 SVI 변화를 Fig. 9에 나타내었다. Fig. 9에서 보듯이 황토가 투입되지 않은 슬러지의 습윤밀도는 1.05 g/mL이었으며, 황토가 5 g/L 투입되었을 때 습윤밀도는 1.27 g/mL까지 증가하였다. 슬러지의 SVI는 황토가 투입되지 않았을 때는 360 mL/g이었으며, 1.6 g/L의 황토가 투입될 때 까지 SVI는 83.7 mL/g로 빠르게 감소되었으며, 1.6 g/L이상의 투입량에서는 감소율이 감소되었으나 32.8 mL/g로 5 g/L의 황토 투입시 초기에 비해 10.9배가 감소되었다.

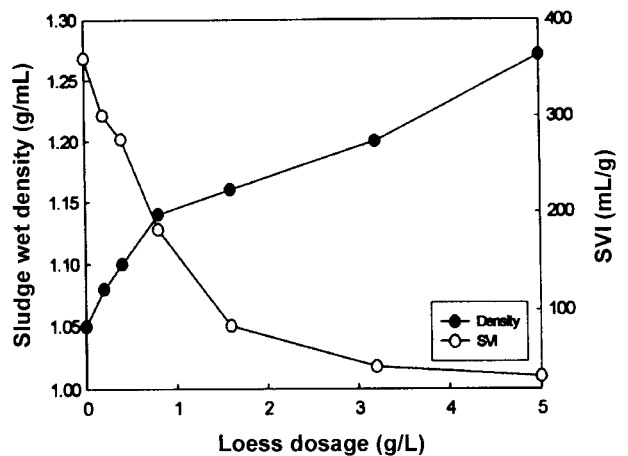


Fig. 9. Effect of the loess dosage on the wet density and SVI.

Fig. 10에 황토 투입에 따른 슬러지 농도와 슬러지 계면 높이를 나타내었다. Fig. 10에서 보듯이 황토가 투입되기 전의 부상공정에서 11100 mg/L에서 황토 투입량에 따라 슬러지 농도가 증가하여 30980 mg/L까지 증가하였다.

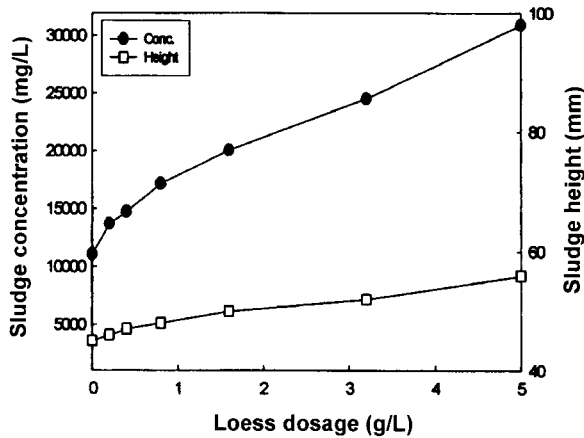


Fig. 10. Effect of the loess dosage on the sludge concentration and interface height.

슬러지 계면높이는 45 mm에서 56 mm로 약간 증가하는 경향을 나타내었다.

Fig. 10에서의 농축 슬러지 농도는 황토를 포함한 농도이기 때문에 황토를 제외한 실제 슬러지의 농축정도가 중요하다. 실제 순수한 슬러지만의 농도로 표현하기 위하여 부상후 수집된 슬러지의 MLVSS를 구하여 황토가 첨가되지 않은 원 슬러지의 VSS/SS 비의 역수를 곱하여 아래 식과 같이 황토를 제외한 환산한 슬러지 농도를 구하여 Fig. 11에 나타내었다.

$$MLSS(converted) = MLVSS(loess) \times \frac{MLSS(raw)}{MLVSS(raw)}$$

Fig. 10에서는 황토 농도 증가에 따라 농축된 슬러지 농도가 증가하는 경향을 보였으나 황토 농도를 제외하고 슬러지만의 농도로 환산한 결과 Fig. 11은 Fig. 10과 다른 결과를 나타내었다. 황토가 0.8 g/L 첨가되었을 경우는 슬러지 농도가 11100 mg/L에서 15677 mg/L로 1.41배 증가되었으며, 그 이상의 첨가량에서는 황토가 첨가되지 않았을 경우보다 농축 슬러지 농도가 높았지만 감소되는 경향을 나타내었으며, 5.0 g/L의 황토 농도에서는 첨가되지 않았을 경우보다 오히려 낮아지는 결과를 얻었다. 이와 같은 결과와 슬러지 계면높이와 슬러지 밀도와와의 관계를 고찰해 볼 때 황토가 첨가됨에 따라서 부상되는 슬러지 농도가 증가되지만 어느 한계이상의 황토 농도에서는 증가된 슬러지 밀도로 인해 슬러지 부상이 저해를 받기 때문에 실제 슬러지 농도가 낮게 나타나며 이것은 슬러지 계면 높이의 증가로 나타난다고 사료되었다. 이것은 불과 비슷한 밀도를 가지는 물질을 부상시켜 처리하는 용존공기부상법의 특성과 관련이 있다고 사료되었다.

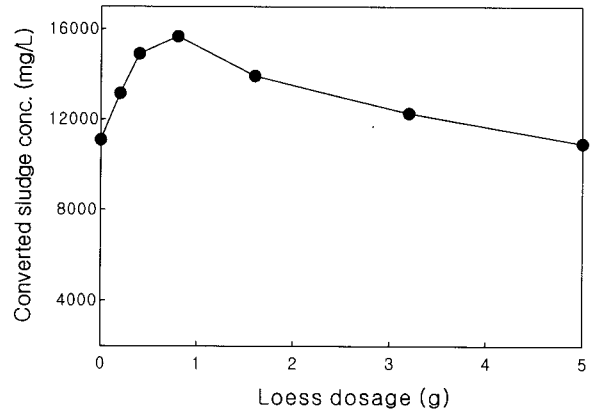


Fig. 11. Effect of the loess dosage on the converted sludge concentration.

4. 결론

DAF를 이용하여 SVI가 높고 침전이 어려운 제지공장 폐수처리장의 반송슬러지를 대상으로 부상실험을 행하여 슬러지의 성상이 부상공정에 미치는 영향을 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 제지슬러지에 하수슬러지를 60%까지 변화시키면서 혼합하여 SVI를 450 mL/g에서 130 mL/g로 변화시켜 부상시켰을 때 농축 슬러지 농도는 1.51배 증가하였으며 낮은 SVI의 슬러지가 부상공정에 유리하였다.
- 2) 슬러지를 보관시킨 결과 MLSS, MLVSS 및 VSS/SS비가 시간에 따라 감소하는 경향을 나타내었으며, SVI의 경우 초기의 350 mL/g에서 8일 경과시 542 mL/g로 크게 증가하는 경향을 보였다. 슬러지 보관기간이 길수록 SVI가 증가하고 그에 따라 농축되는 슬러지 농도가 낮아져 빠른 시간 내에 농축시키는 것이 필요하다고 사료되었다.
- 3) 슬러지 농도를 변화시키면서 최적 부상조건에서 실험하였을 때 초기 슬러지 농도가 9500 mg/L에서는 2-3 cm 부상하는데 그쳤으며, 11260 mg/L에서는 전혀 부상하지 않았다. 동일한 조건에서 슬러지 농도를 변화시켜 실험할 경우 농축한계가 존재하며, 초기 슬러지 농도가 얼마이던지 농축할 수 있는 최대 한계이상으로는 농축이 어렵기 때문에 초기 슬러지 농도가 높은 경우 슬러지 계면 높이가 증가한다고 사료되었다. 고농도 슬러지의 농축효율을 높이기 위하여 가압수의 순환비와 압력을 높이는 것은 농축 효과가 적기 때문에 다른 방법을 사용하여야 한다고 사료되었다.
- 4) 황토 투입량을 0.2-5 g/L로 조절하면서 슬러지의 습윤밀도와 SVI 변화를 고찰한 결과 황토 투입량에 따라 슬러지의 습윤밀도는 증가하고 SVI는 감소하는 경향을 나타내었다. 황토가 투입되기 전의 부상공정에서 11100 mg/L에서 황토 투입량에 따라 슬러지 농도가 증가하여 30980 mg/L까지 증가하였으나, 황토를 제외한 순수한 슬러지 농도를 구한 결과 0.8 g/L의 황토 투입시 농축 슬러지 농도는 15677 mg/L로 나타나 1.41배의 농도 증

가를 나타내어 황토와 같은 물질의 첨가는 적절하게 첨가되면 부상효율을 높일 수 있을 것이라고 사료되었다.

사 사

본 연구는 2005년도 경북지역환경기술개발센터의 지원을 받아 진행되었기에 감사드립니다(과제번호 : 05-2-10-11-06).

참고문헌

- 곽동희, 김성진, 임영환, 용존공기부상(DAF) 공정을 이용한 생물학적 플록의 부상분리, *상하수도학회지*, **18**(5), pp. 649-655 (2004).
- 권재현, 박기영, 이용훈, 안규홍, 저함수를 케이크 생산을 위한 하수슬러지 전처리 연구, *한국물환경학회, 대한상수도학회 공동 춘계 학술발표회 논문집*, pp. 195-198 (2001).
- 김성기, 용존공기부상법에 의한 제지폐수처리의 최적조건에 관한 연구, 영남대학교 석사학위논문, pp. 38-52 (2005).
- 김유창, 김재형, 신홍식, 용존공기부상(Dissolved air Flotation)을 이용한 수처리 기술, *기계와 재료*, **13**(2), 113-124 (2001).
- 독고석, 용존공기부상법(DAF)에서 입자와 미세기포의 충돌 특성에 관한 연구, 서울대학교 박사학위논문, pp. 90-92 (1998).
- 문병현, 김상수, 윤조희, 윤태경, 이강춘, 염분 및 C/N비가 flocc의 특성과 슬러지 농축에 미치는 영향, *한국폐기물학회지*, **19**(4), pp. 466-472 (2002).
- 박영식, 용존공기 부상법을 이용한 폐수 슬러지 함수율 감소 방안, 경북지역환경기술개발센터 과제 중간보고서, pp. 1-24 (2005).
- 서명교, 신항식, 안갑환, 전행배, 최윤찬, *폐수처리단위조작, 사이텍미디어*, 서울, pp. 705-710 (1998).
- 양상현, 라덕관, 가압부상법에 의한 활성슬러지 혼합액의 고액분리에 관한 연구, *대한토목학회지*, **5**(3), pp. 21-29 (1985).
- 유제선, 김성훈, 신은희, 박희경, Dissolved Air Flotation (DAF) 접촉조의 수리동력학적 조건이 입자의 제거에 미치는 영향, *상하수도학회지*, **17**(1), pp. 93-102 (2003).
- 이준, 부상공정에 의한 상수슬러지 농축, 서울대학교 석사학위논문, pp. 38-40 (2004).
- 이창한, 흡광도를 이용한 활성슬러지 농도 측정, 부산대학교 석사학위논문, pp. 12-68 (1998).
- 정용준, 목중상추, 민경석, 매쉬 여과모들을 이용한 잉여슬러지 농축, *한국물환경학회지*, **20**(4), pp. 346-351 (2004).
- 정원구, 제지폐수의 응집특성 및 활성슬러지 처리에 관한 연구, 강원대학교 석사학위논문, pp. 1-21 (1998).
- 조삼일, TOP DAF SYSTEM (Microbubble generator)를 이용한 용존공기부상시스템, *제2회 환경신기술발표회, 환경관리공단*, pp. 184-193 (2001).
- 최영균, 정태학, 염익태, 전해부상을 이용한 활성슬러지의 농축효율 향상, *상하수도학회지*, **19**(3), pp. 295-300 (2005).
- Allen, T., Particle Size Measurement, 3rd ed., *Chapman and Hall*, New York, pp. 350-352 (1981).
- APHA, AWWA, WPCF., *Standard Method for the Examination of Water and Wastewater*. 18th ed. (1992).
- Choi, Y. G. and Chung, T. H., Effects of Hhumus Soil on the Settling and Dewatering Characteristics of Activated Sludge, *Wat. Sci. Tech.*, **42**(9), pp. 127-134 (2000).
- Environmental Protection Agency(EPA), Sludge Treatment and Disposal, EPA Process Design Manual, Washington D.C., (1979).
- Sørensen, B. L. and Wakeman, R. J., Filtration Characterisation and Specific Surface Area Measurement of Activated Sludge by Rhodamine B Adsorption, *Wat. Res.*, **30**(1), pp. 115-121 (1996).
- Zebel, T., The Advantages of Dissolved Air Flotation, *J. of AWWA*, **77**(5), pp. 2-45 (1985).