

## 팽화 슬러지의 침전에 미치는 슬러지 성상의 영향

김 동 석 · 박 영 식\*

대구가톨릭대학교 환경과학과, \*대구대학교 보건과학부  
(2005년 10월 10일 접수; 2006년 10월 10일 채택)

### Effect of Sludge Characteristics on the Sedimentation of Bulking Sludge

Dong-Seog Kim and Young-Seek Park\*

Department of Environmental Science, Catholic University of Daegu, Gyeongbuk 712-702, Korea  
\*Division of Health Science, Daegu University, Gyeongbuk 712-830, Korea  
(Manuscript received 10 October, 2006; accepted 10 October, 2006)

This study was carried out to evaluate effect of sludge characteristics (pH, SVI, anaerobic storage, wet density and growth phase) on the sedimentation of bulking sludge of paper manufacturing plant. The results showed that mix bulking sludge with sewage sludge (10-60%) caused the decrease of SVI, the settled sludge concentration was increased. Increase of anaerobic storage time (0 to 8 day) was increased SVI, sedimentation performance was deteriorated. The sedimentation was improved by addition of loess (0.2-5.0 g/L), because wet density of sludge was increased and SVI was decreased. At an exponential phase, the ratio of sedimented/growthed sludge concentration was decreased, the ratio was increased after stationary phase.

Key Words : Sedimentation, Bulking sludge, SVI, Wet density, Anaerobic storage, Growth

#### 1. 서 론

펄프·제지공업은 화학공업, 철강산업, 전자산업 등과 같이 전형적인 용수산업으로 원료나 약품의 조성에서부터 제지에 이르기까지 물을 사용하지 않는 공정이 없을 정도로 많은 물을 사용하며 생산된 종이 1 ton당 평균 50 m<sup>3</sup>(24 - 160 m<sup>3</sup>)의 폐수가 발생하는 대량의 자원, 에너지 및 용수를 사용하는 다 소비형 산업이다<sup>1)</sup>. 현대사회의 정보산업 발달에 따라서 기하급수적인 수요확대로 종이의 생산량이 급증하여 펄프·제지공장의 폐수 배출량도 증가되고 있다. 제지폐수는 COD에 비해 BOD가 낮고 미세한 섬유질이나 콜로이드성 물질이 많아 하천이나 해안에 방류되면 저질에 부유물질 등이 침전되어 부패되므로 2차적인 수질오염을 야기시켜 수환경을 악화시킨다<sup>2,3)</sup>.

펄프·제지 공장에서 배출되는 폐수를 제거하기

위해 물리적, 화학적, 생물학적인 처리방법이 활용되어 왔고 생물학적인 처리방법은 활성슬러지 공정이 주종을 이루어 왔다. 활성슬러지 공정은 다른 처리법에 비하여 경제적인 공정이지만 반응이 물리, 화학적 처리공정보다 느리고 큰 시설규모가 요구되기 때문에 국내의 제지폐수는 주로 물리, 화학적 처리 후에 활성슬러지 공정을 이용하고 있다<sup>4)</sup>.

펄프·제지 폐수에는 COD 유발물질인 원료 고지의 증해액, 사이징제, 지력증강제 등이 다량 함유되어 있으며, 펄프는 생물학적으로 분해하기 어려운 lignin, hemicellulose, cellulose 등으로 이루어져 있고 생산공정마다 폐수의 성분이 다른 특징을 가지고 있다<sup>5)</sup>. 난분해성 물질의 존재나 폐수 조성 변화 등에 따라 침전하지 않고 부유하는 분산성 미생물이 많아지는 등 처리현장에서 문제점이 종종 발생되고 있다<sup>6-8)</sup>.

이에 따라 본 연구에서는 SVI (Sludge Volume Index)가 높고 중력 침전에 의해 침전이 잘 되지 않는 제지공장의 반송슬러지를 대상으로 슬러지의 성상이 중력 침전에 미치는 영향을 고찰하였다.

Corresponding Author : Young-Seek Park, Division of Health Science, Daegu University, Gyeongbuk 712-830, Korea  
Phone: +82-53-650-8049  
E-mail: ysparkk@daegu.ac.kr

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 실험재료

M 제지사는 응집·침전 + 활성슬러지법으로 폐수를 처리하고 있는데, SS 부하량이 많고 가볍기 때문에 flocc 강도가 낮으므로 중력 침전으로는 처리하기 어렵고 슬러지 팽화가 자주 일어나 제어하기 어렵다<sup>9)</sup>.

실험에 사용한 M 제지사의 반송슬러지는 SVI를 측정된 결과 350-450 mL/g을 나타내어 팽화가 발생한 상태였다. 반송슬러지의 농도는 2000-2500 mg/L의 범위에 있었으며, 평균 반송슬러지 농도인 2200 mg/L를 기준으로 실험하였으며, 반송슬러지를 sieve로 체질한 뒤 폭기되는 저류조에 보관하였다. 슬러지는 Table 1과 같은 인공 합성폐수에 순양시켜 실험에 사용하였다.

침전실험은 1 L 메스실린더로 실험하고 시간에 따른 상정액의 미생물 농도와 침전된 미생물 농도를 측정하였으며, 미생물 성장에 따른 실험은 2주정도 순양된 슬러지를 2200 mg/L로 조절하고 Table 1과 같은 인공 합성폐수를 투입하고 30°C로 유지되는 미생물 반응기에 배양시켰으며, 일정 시간 간격으로 시료를 채취하여 침전실험에 사용하였다.

### 2.2. 분석 및 측정

상정액의 미생물 농도와 침전된 미생물 농도를 Standard Methods<sup>10)</sup>에 따라 측정하였다. 슬러지의 SVI(Sludge Volume Index)는 1 L 메스실린더를 이용하여 농도를 미리 측정된 슬러지를 투입시킨 뒤 30분 침전시킨 후 슬러지-물 계면부피를 측정하여 SV(Sludge Volume)와 MLSS 농도를 측정하여 Standard Methods<sup>10)</sup>에 따라 측정하였다.

입자의 부피가 기하학적으로 정의되어 있지 않은 입자의 경우는 비중병(pyknometer)을 이용하여 밀도를 결정한다. 슬러지의 밀도는 슬러지 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<sup>11)</sup>.

Table 1. Composition of artificial wastewater

Chemicals	Concentration (g/L)
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	0.45
NH <sub>4</sub> Cl	0.12
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0.07
KCl	0.04
CaCl <sub>2</sub>	0.04
NaCl	0.08
MgSO <sub>4</sub>	0.04

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

M<sub>1</sub> : 비중병 무게 (g)

M<sub>2</sub> : 비중병 무게 + 증류수 무게 (g)

M<sub>3</sub> : 비중병 무게 + 활성슬러지 pellet 무게 (g)

M<sub>4</sub> : 비중병 무게 + 활성슬러지 pellet 무게 + 증류수 무게 (g)

ρ<sub>s</sub> : 활성슬러지 습윤밀도 (g/mL)

ρ<sub>w</sub> : 해당 온도의 물 밀도 (g/mL)

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. pH가 침전에 미치는 영향

용액의 pH는 용액중의 슬러지와 미세기포의 제타전위(Zeta potential)를 변화시키는 것으로 알려져 있다<sup>12)</sup>. 본 실험은 슬러지 농도가 2210 mg/L인 슬러지로 실험하였으며 중력침전에 의한 슬러지 농도와 SVI를 Fig. 1에 나타내었다.

pH 변화에 따른 SVI는 pH 7에서 10으로 변함에 따라 SVI가 12 mL/g이 증가하였으며, pH가 7에서 4로 변함에 따라 30 mL/g이 변하여 산성영역에서의 SVI 변화가 염기성 영역보다 조금 더 큰 것으로 나타났으나 큰 변화는 보이지 않았다. 중력침전에 의한 슬러지 농도는 2579(pH10)-2753(pH 7) mg/L로 나타나 원 슬러지 농도인 2210 mg/L와 비교해보면 1.17배-1.25배의 농축효율을 보였다. 30분의 침전이 끝난 뒤 상등수의 슬러지 농도를 측정할 결과 pH에 관계없이 30-40 mg/L로 나타났다.

본 실험결과 pH가 6-9 부근에서는 SVI가 크게 변하지 않고 침전농도도 유사하게 나타나 일반적인 슬러지의 pH 범위인 중성부근을 고려할 때 슬러지의 pH는 침전에 큰 영향을 미치지 않는다고 사료되었다.

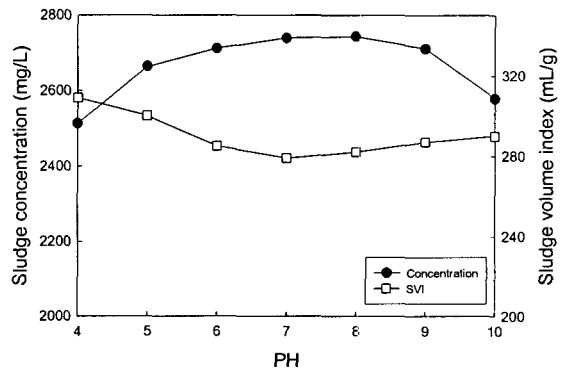


Fig. 1. Effect of pH on the sedimentation.

## 팽화 슬러지의 침전에 미치는 슬러지 성상의 영향

### 3.2. 슬러지의 SVI 변화가 침전에 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 유출 수 수질저하가 예상된다<sup>13)</sup>.

실험에 사용한 제지공장의 반송슬러지의 SVI는 350-450 mL/g의 범위에 있어 일반적으로 슬러지 팽화의 기준보다 대부분 높은 상태에 있기 때문에 항상 팽화 상태에 있어 최종 침전지에서의 슬러지의 농축이 항상 문제가 된다. 3.1 절에서 팽화상태의 제지슬러지를 중력침전시킨 결과 원 슬러지 농도의 1.2배 정도만 침전하기 때문에 침전에 의한 슬러지 농축을 증가시킬 방법이 필요하다.

SVI가 80-100 mL/g인 대구 S 하수처리장의 반송슬러지를 2200 mg/L 정도로 농도를 조절한 뒤 비율을 바꾸면서(하수슬러지의 비율 : 0-60%) 혼합하여 슬러지의 SVI를 130-450 mL/g으로 변화시킨 후 실험한 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 하수처리장의 반송슬러지는 사상성 미생물로 보이는 미생물은 거의 존재하지 않았으며, 원생동물도 관찰되었다. 제지공장 반송슬러지의 경우는 원생동물은 관찰되지 않았으며 사상성 미생물이 많이 관찰되어 하수처리장의 반송슬러지와는 다른 성상을 가지고 있었다.

Fig. 2에서 보듯이 SVI가 450 mL/g인 원 제지슬러지를 침전시켰을 때 침전에 의한 슬러지 농도는 2222 mg/L로 나타나 원 제지슬러지의 농축정도는 1.03배로 나타나 침전에 의한 농축정도는 매우 낮아 침전이 거의 이루어지지 않았다. 하수슬러지 비율이 높아지면서 농축 슬러지 농도가 높아지는 경향을 보였으며 SVI가 130 mL/g인 경우(하수슬러지 첨가

율 : 60%) 슬러지 농도는 7659 mg/L까지 증가하여 SVI가 450 mL/g인 경우와 비교하면 3.44배 증가하였다.

Fig. 2에서 알 수 있듯이 SVI가 높은 제지슬러지에 SVI가 낮은 하수슬러지를 혼합하면 SVI가 낮아져 침전에 의한 슬러지 농축이 증가하는 것으로 사료되었다.

상등수의 슬러지 농도범위는 100(SVI : 130 mL/g)-200 mg/L(SVI : 450 mL/g)로 나타나 SVI가 낮을수록 하부수의 슬러지 농도가 낮아지는 경향을 나타내었다.

### 3.3. 슬러지의 혐기보관이 침전에 미치는 영향

슬러지를 혐기 보관하게 되면 슬러지의 비표면적이 변하고 슬러지가 포함된 액중의 탁도와 DOC (Dissolved Organic Carbon)가 증가하게 된다<sup>14)</sup>.

슬러지를 상온에서 교반 없이 보관하여 보관시간이 슬러지 침전에 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 76.3%에서 74.2%로 감소되는 경향을 보였다. SVI의 경우 초기의 350 mL/g에서 8일 경과시 542 mL/g으로 크게 증가하는 경향을 보였다. 슬러지를 육안으로 관찰한 결과 2일경과 후 슬러지 색이 회색으로 변하기 시작하였고, 냄새가 나기 시작하였다. 4일 경과 후 슬러지 색이 회색으로 완전히 변하였으며 냄새가 많이 났고 6일 경과후 완전히 검게 변하였다.

Sørensen 등<sup>15)</sup>은 활성슬러지가 혐기화되면 플러 구조가 느슨해지고 사상성 미생물의 증가로 밀도가 낮아진다고 보고하였으며, 이<sup>14)</sup>는 130시간의 혐기보

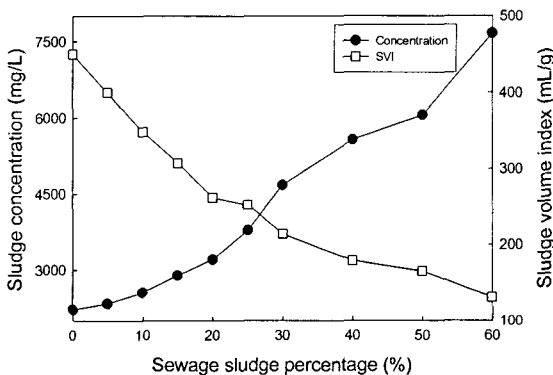


Fig. 2. Effect of sewage addition on the sedimentation and SVI.

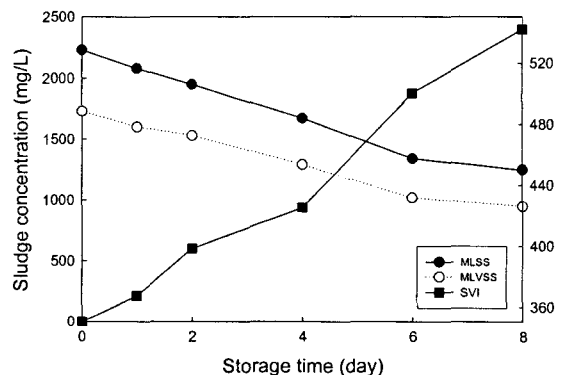


Fig. 3. Variation of MLSS, MLVSS and SVI with storage time.

관 후 하수처리장 슬러지는 막대모양의 사상성 박테리아와 분산된 미생물 플록이 많이 관찰되었으며 SVI의 경우 초기의 165 mL/g에서 130시간 경과시 276 mL/g으로 증가하였다는 보고한 결과와 수치는 다르지만 유사한 결과를 얻었다.

슬러지 보관에 따른 농축된 슬러지 농도를 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4에서 보듯이 슬러지 보관기간이 길수록 농축되는 슬러지 농도(●)가 낮아지는 결과를 얻었다. 또한 혐기보관에 따른 슬러지 농도에 대한 침전 슬러지 농도비(□)는 초기의 1.25배에서 보관시간의 경과에 따라 농도비가 감소되어 8일 경과 후 1.12배까지 감소되어 보관시간이 길어질수록 침전 효율이 나빠짐을 알 수 있었다.

이<sup>14)</sup>는 슬러지의 보관시간 증가(0-130시간)에 따라 슬러지의 제타전위가 -9.6 mV에서 -3.1 mV로 감소하고, 사상성 미생물 증가에 의해 슬러지 비표면적이 123.6 m<sup>2</sup>/g에서 192.8 m<sup>2</sup>/g으로 증가되었다고 보고하였다. 이<sup>14)</sup>와 본 연구결과를 종합해 볼 때 슬러지의 보관으로 인해서 슬러지 입자의 제타전위가 감소되어 침전효율의 증가요인이 발생하지만 사상성 미생물 증가로 인한 SVI 증가효과가 더 크기 때문에 침전효율이 떨어진다고 사료되었다.

상등수의 슬러지 농도는 70-140 mg/L 범위에 있었으며 보관시간이 증가할수록 상등수의 슬러지 농도가 감소하는 경향을 나타내었다.

3.4. 슬러지 습윤밀도가 침전에 미치는 영향

하·폐수 처리장에서 슬러지 발생량을 줄이기 위해 탈수과정에서 고분자 응집제 및 응집보조제 등의 응집제를 사용하여 평균적으로 약 80% 전후의 함수율을 배출된다. 이때 탈수과정에서 사용되는 화학응집제 및 보조제는 그 비용 면에서 상당히 많은 부담을 안고 있어 비용이 적은 응집보조제가 필요하다. 주 등<sup>16)</sup>은 황토와 폐굴껍질을 응집보조제로 사용한 결과 탈수 응집보조제로서의 가능성을 보였

다고 보고하였다. 황토는 지구상 흙의 약 10%에 해당할 만큼 보유량이 많으며, 그 중에서 우리 땅에는 양질의 황토가 약 15%이고 황토질이 약 20%에 이른다. 주로 실트(0.005-0.05 mm) 크기의 입자들로 구성되어 있으며, 벌집형 구조로 탄산칼슘에 의해 느슨하게 교결되어 있으며, 대개 균질하고 층리가 발달되어 있지 않으며, 공극률은 50-55% 정도로 크다. 따라서 황토는 흡수력이 크고 미세입자와 결합시 공극을 채워 단위중량을 크게 하는 성질이 있다. 또한 황토의 콜로이드 입자는 수중의 현탁물질을 응집·흡착하는 성질이 있다<sup>17,18)</sup>.

본 실험에서는 탈수 조작전 슬러지 농축단계에서 슬러지 농축 정도를 높이기 위한 방법으로 황토를 이용하여 농축가능성을 보고자 하였다. 황토 투입량을 0.2-5 g/L로 조절하면서 슬러지의 습윤밀도와 SVI 변화를 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5에서 보듯이 황토가 투입되지 않은 슬러지의 습윤밀도는 1.05 g/mL였으며, 황토가 5 g/L 투입되었을 때 습윤밀도는 1.27 g/mL까지 증가하였다. 슬러지의 SVI는 황토가 투입되지 않았을 때는 360 mL/g, 1.6 g/L의 황토가 투입될 때 까지 SVI는 83.7 mL/g으로 빠르게 감소되었으며, 1.6 g/L이상의 투입량에서는 감소율이 감소되었으나 5 g/L의 황토 투입시 32.8 mL/g으로 초기에 비해 10.9배가 감소되었다.

Fig. 6에 황토 투입에 따른 농축 슬러지 농도(●)와 농축 슬러지에서 황토 농도를 제외한 순수 슬러지만의 농도로 환산한 농도(□)를 나타내었다. 실제 순수한 슬러지만의 농도로 표현하기 위하여 황토를 투입하고 침전후 수집된 슬러지의 MLVSS를 구하여 황토가 첨가되지 않은 원 슬러지의 VSS/SS 비의 역수를 곱하여 아래 식과 같이 황토를 제외한 환산한 슬러지 농도를 구하였다<sup>19)</sup>.

$$MLSS(converted) = MLVSS(loess) \times \frac{MLSS(raw)}{MLVSS(raw)} \quad (2)$$

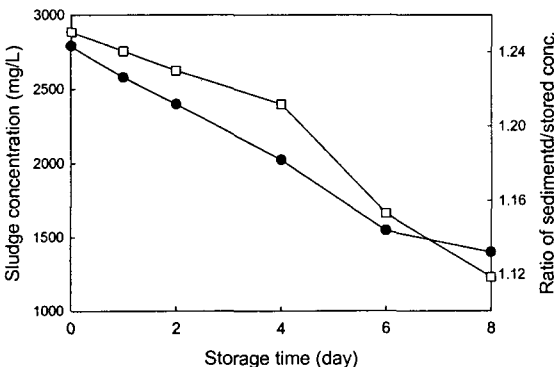


Fig. 4. Effect of storage time on the sedimentation and ratio of sedimented/stored sludge concentration.

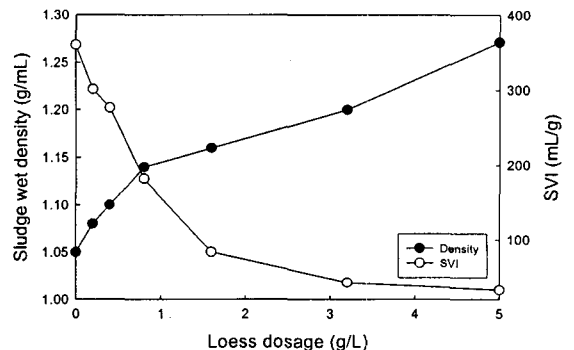


Fig. 5. Variation of sludge wet density and SVI with loess dosage.

## 팽화 슬러지의 침전에 미치는 슬러지 성상의 영향

Fig. 6에서 보듯이 황토가 투입되기 전의 농축농도 2726 mg/L에서 황토가 투입됨에 따라 농도가 빠르게 증가하여 5 g/L 투입시 30474 mg/L까지 증가하였다.

Fig. 6에서 황토농도를 고려한 농축 슬러지 농도는 황토 투입량에 따라 선형적인 증가를 보이지만 황토 농도를 제외한 경우는 5.0 g/L 투입시 농도 증가율이 감소되는 경향을 나타내어 3.2 g/L이하의 황토를 투입하는 것이 좋다고 사료되었다. 이와 같은 결과는 Fig. 5에서 보듯이 일정 농도이상의 황토 투입은 슬러지의 SVI 감소에 큰 영향을 미치지 못하기 때문에 고농도에서 농축 효율이 감소된다고 사료되었다.

박<sup>19)</sup>은 같은 슬러지를 사용하고 DAF와 침전 공정이라는 공정 차이 외는 다른 조건은 일정한 상태에서 DAF를 이용한 슬러지의 부상실험에서 황토 농도 증가(0.2 g/L → 5.0 g/L)에 따라 농축된 슬러지 농도가 선형적으로 증가하는 경향을 보이지만 순수 슬러지만의 농도로 환산하였을 때 황토가 첨가되지 않았을 경우의 부상에 의해 농축된 농도인 11100 mg/L에서 황토가 0.8 g/L 첨가시 15677 mg/L로 1.41배 증가되었으며, 그 이상의 첨가량에서는 농축 슬러지 농도가 감소되는 경향을 나타내어 0.8 g/L가 최적 첨가량이었다고 보고하였다. 부상공정에서 황토의 첨가는 슬러지 밀도 증가 때문에 부상공정이 특성상 최적첨가량이 나타나지만 본 실험과 같은 침전공정에서는 밀도가 증가하면 침전도 증가하기 때문에 최적 농도는 나타나지 않는 것으로 사료되었다.

### 3.5. 슬러지 성장단계가 침전이 미치는 영향

곽 등<sup>20)</sup>은 용존공기부상법을 이용한 슬러지 농축에서 슬러지의 성장 단계에 따라 슬러지의 농축이 달라진다고 보고하였다. 슬러지의 성장단계가 침전에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 슬러지를 배양

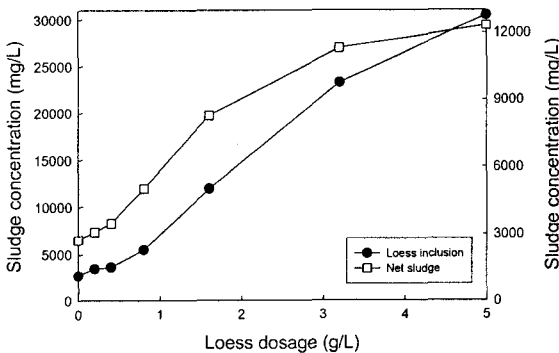


Fig. 6. Effect of loess dosage on the sedimentation.

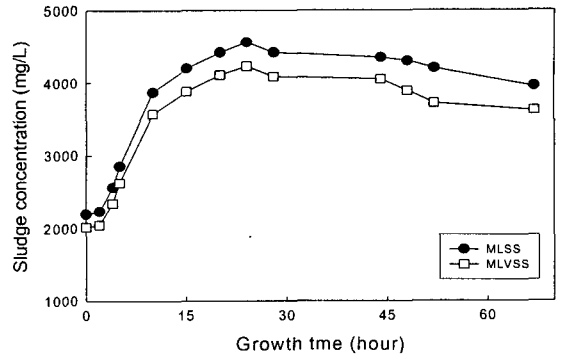


Fig. 7. Variation of MLSS and MLVSS with growth time.

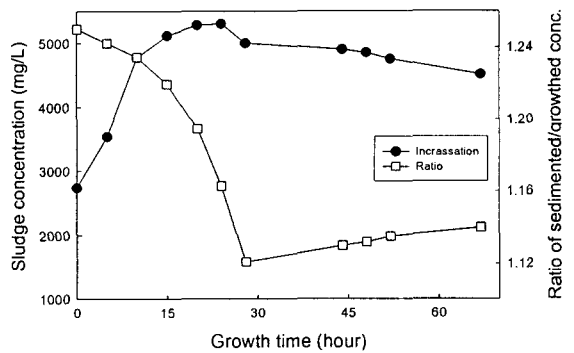


Fig. 8. Effect of growth time on the sedimentation and ratio of sedimented/growthed sludge concentration.

하여 슬러지의 성장 단계에 따른 MLSS와 MLVSS 변화를 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7에서 보듯이 슬러지의 배양시간에 따라 MLSS와 MLVSS는 전형적인 'S'곡선을 나타내었다.

Fig. 8에 슬러지의 성장단계에 따른 침전농도와 성장된 미생물 농도에 대한 침전 농도의 비를 나타내었다. Fig. 8에서 보듯이 침전에 의해 농축된 농도 (●)는 슬러지의 성장단계와 같은 경향을 나타내었다. 그러나 이와 같은 슬러지 농도의 증가는 미생물이 성장함에 따라 미생물 농도가 증가되었기 때문에 슬러지의 성장단계에 따른 농축정도를 정확하게 알 수 없기 때문에 슬러지 농도에 대한 침전 농도비 (□)를 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 8에 보듯이 침전/성장 슬러지 농도비는 침전된 농도와는 다른 경향을 나타내었다. 즉, 미생물이 성장함에 따라 대수성장에 이를 때까지 슬러지 농도에 대한 침전 슬러지 농도의 비가 감소하는 경향을 나타내고 정지기를 기점으로 슬러지 농도에 대한 침전 농도비가 서서히 증가하는 경향을 나타내었다.

#### 4. 결 론

SVI가 높고 침전이 어려운 제지공장 폐수처리장의 반송슬러지를 대상으로 슬러지의 성상이 침전에 미치는 영향을 고찰하여 다음의 결과를 얻었다.

하였다.

1) pH가 6-9 부근에서는 SVI가 크게 변하지 않고 침전농도도 유사하게 나타나 일반적인 슬러지의 pH 범위인 중성부근을 고려할 때 슬러지의 pH는 침전에 큰 영향을 미치지 않는다고 사료되었다.

2) SVI가 침전에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 하수처리장의 슬러지를 혼합하여 SVI를 변화시켜 실험한 결과 SVI가 450 mL/g인 원 제지슬러지를 침전시켰을 때 슬러지 농축은 원 슬러지 농도에 대해 1.03배로 나타나 침전이 거의 이루어지지 않았으나, SVI가 130 mL/g인 경우(하수슬러지 첨가율 : 60%) 7659 mg/L까지 증가하여 농축이 3.44배 증가하였다.

3) 혐기보관 시간이 증가함에 따라 MLSS, MLVSS 및 VSS/SS비가 감소하는 경향을 나타내었다. 혐기보관 시간에 따라 SVI가 증가하였으며, 혐기보관 기간이 길수록 농축되는 슬러지 농도가 낮아지는 결과를 얻었다.

4) 황토 투입량을 0.2-5 g/L로 조절하면서 슬러지의 습윤밀도와 SVI 변화를 고찰한 결과 황토 투입량에 따라 슬러지의 습윤밀도는 1.05 g/mL에서 1.27 g/mL까지 증가하였다. SVI는 5 g/L의 황토 투입시 360 mL/g에서 32.8 mL/g으로 10.9배가 감소되었다. 황토가 투입되기 전의 침전농도에서 2726 mg/L에서 5 g/L 투입시 30474 mg/L까지 증가하였다. 황토를 제외한 순수한 슬러지 농도를 구한 결과 3.2 g/L 이상의 황토 투입시 농축 농도 증가율이 감소되어 3.2 g/L이하의 황토를 투입하는 것이 좋다고 사료되었다.

5) 슬러지의 배양시간에 따라 MLSS와 MLVSS는 전형적인 'S'곡선을 나타내었다. 침전에 의해 농축된 농도는 슬러지의 성장단계와 같은 경향을 나타내었다. 슬러지 농도에 대한 침전 농도비를 구한 결과, 슬러지 농도비는 침전 농도와는 다른 경향을 나타내었다. 즉, 미생물이 대수성장기에서는 슬러지 농도에 대한 침전 슬러지 농도의 비가 감소하는 경향을 나타내고 정지기를 기점으로 슬러지 농도에 대한 침전슬러지 농도비가 증가하는 경향을 나타내었다.

#### 참 고 문 헌

- 1) 정인, 2004, 제지폐수 혐기성 처리의 현황 및 미래, 공업화학 전망, 7(1), 3-13.
- 2) 이성호, 임택준, 조준형, 2002, 고온성 중균제를 이용한 제지폐수 처리, 펄프·종이기술, 34(2), 220-226.
- 3) 김동석, 박영식, 2005, DAF(Dissolved Air Flotation)를 이용한 제지폐수의 COD, SS 및 탁도 제거, 한국환경보건학회지, 31(4), 246-253.
- 4) 박종현, 김선영, 한완택, 2000, 호기적 제지폐수 처리과정중의 분산 혐기성 미생물의 영향, 한국산업미생물공학회지, 28(3), 180-184.
- 5) 정현성, 김용환, 류정용, 송봉근, 김상철, 이상일, 2004, 입상화 촉진제를 이용한 슬러지 입상화 및 이를 이용한 제지 폐수 처리, 대한환경공학회지, 26(8), 837-843.
- 6) 최택열, 1998, 활성오니처리의 장애의 규명과 그 제어에 관한 연구, 한국환경위생학회지, 20(2), 28-38.
- 7) 이장훈, 권혁구, 강병근, 정준오, 2004, 활성오니 공법에서 영양염류 조성비와 공기조절이 팽화발생에 미치는 영향, 한국환경위생학회지, 30(1), 7-14.
- 8) Kang, C. H., H. A. Lim, I. S. Jeong and K. Sakai, 1996, Studies on the treatment of pulp and paper mill wastewater by white-rot fungi, J. Korea Tappi., 28, 31-39.
- 9) 김성기, 2005, 용존공기부상법에 의한 제지폐수 처리의 최적조건에 관한 연구, 영남대학교, 석사학위논문, 38-52.
- 10) APH-AWWA-WPCE, 1992, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th Ed., APHA, Washington D.C., 2-66.
- 11) Allen, T., 1981, Particle size measurement, 3rd ed., Chapman and Hall, New York, 350-352.
- 12) 박중현, 한무영, 독고석, 남기진, 1997, 용존공기 부상법(DAF)에서 조류제거시 충돌/부착 특성, 한국수질보전학회 추계학술발표회 논문초록집, 223-226.
- 13) 서명교, 신항식, 안갑환, 진행배, 최윤찬, 1998, 폐수처리단위조작, 사이텍미디어, 서울, 705-710.
- 14) 이창한, 1998, 흡광도를 이용한 활성슬러지 농도 측정, 부산대학교 석사학위논문, 12-68.
- 15) Sørensen, B. L. and R. J. Wakeman, 1996, Filtration characterization and specific surface area measurement of activated sludge by Rhodamine B adsorption, Wat. Res., 30(1), 115-121.
- 16) 주윤경, 정병길, 김정권, 장성호, 성낙창, 강동효, 2000, 황토 및 폐 굴껍질을 이용한 하수 슬러지

## 평화 슬러지의 침전에 미치는 슬러지 성상의 영향

- 의 탈수에 관한 기초연구, 한국폐기물학회 춘계 학술발표회논문집, 229-232.
- 17) 임성진, 조재준, 이재복, 2000, 황토와 석회의 혼합처리에 의한 정수 슬러지의 개질화에 관한 연구, 대한상하수도학회지, 14(4), 318-327.
- 18) 정의덕, 김호성, 박경원, 백우현, 1999, 황토의 물리적 특성 및 수용액중의 중금속 이온의 흡착 특성에 관한 연구, 한국환경과학회지, 8(4), 491-496.
- 19) 박영식, 2005, 용존공기 부상법을 이용한 폐수 슬러지 함수율 감소 방안, 경북지방환경기술개발센터 과제 중간보고서, 1-24.
- 20) 광동희, 김성진, 임영환, 2004, 용존공기부상(DAF) 공정을 이용한 생물학적 플록의 부상 분리, 상하수도학회지, 18(5), 649-655.