

팽화슬러지의 용존공기부상과 침전에 미치는 굴패각 첨가의 영향

김동석 · 박영식^{†,*}

대구가톨릭대학교 환경과학과 · *대구대학교 보건과학부

(2006년 5월 9일 접수, 2007년 1월 9일 채택)

Effect of Oyster Shell Addition on the Dissolved Air Flotation and Sedimentation of Bulking Sludge

Dong-Seog Kim · Young-Seek Park^{†,*}

Department of Environmental Science, Catholic University of Daegu · *Division of Health Science, Daegu University

ABSTRACT : The objective of this study is to examine the effect of the waste oyster shell powder as the addition agent in bulking sludge thickening of paper manufacturing plant using DAF(Dissolved Air Flotation) and gravitational sedimentation. The effect of parameters such as dosage and size distribution of oyster shell were examined. The results showed that the optimum dosage of mixed oyster shell(size range : ~250 μm) was 0.8 g/L. The oyster shell addition of 5.0 g/L in sedimentation process was increased thickening concentration of 3.25 times. When 5.0 g/L of oyster shell was added in DAF process, water content of sludge was decreased from 95.5% to 82.7% in dewatering process using Buchner funnel test device. When size of oyster shell was divided four ranges(~53 μm, 53~106 μm, 106~150 μm, 150~250 μm), optimum size range for the flotation and dewatering was 53~106 μm.

Key Words : Sludge Thickening, Dissolved Air Flotation, Bulking Sludge, Sedimentation, Oyster Shell, Water Content

요약 : 용존공기부상법과 중력침전법을 이용하여 제지공장의 팽화슬러지를 농축에서 폐 굴패각 분말을 첨가제 사용하였을 때의 효과를 조사하였다. 굴패각의 투입량과 크기분포와 같은 인자가 연구되었다. 혼합 굴패각(크기 범위 : ~250 μm)의 최적 투입량은 0.8 g/L인 것으로 나타났다. 침전공정에서 굴패각 5.0 g/L 첨가시 농축 슬러지 농도는 3.25배 증가하였다. 용존공기부상법에서 5.0 g/L의 굴패각 첨가시 Buchner funnel test 장치를 이용하여 측정된 슬러지의 함수율은 95.5%에서 82.7%로 감소되었다. 혼합 굴패각을 4가지 크기(~53 μm, 53~106 μm, 106~150 μm, 150~250 μm)로 나누었을 때 부상과 탈수공정에서 최적 굴패각 입도 범위는 53~106 μm로 나타났다.

주제어 : 슬러지 농축, 용존공기부상법, 팽화슬러지, 침전, 굴패각, 함수율

1. 서론

2004년 말 기준 268개 하수종말처리시설에서 연간 2,426,070톤의 하수슬러지가 발생되었으며, 2003년 7월 이후 함수율이 75% 이상인 슬러지의 직 매립 금지로 인하여 2004년 도에는 1,869,334톤(77.1%)이 해양투기에 의하여 처리되었고, 재활용 239,085톤(9.8%), 육상매립 34,295톤(1.4%) 및 소각 283,356톤(11.7%)으로 다른 처리방법에 비해 해양투기의 비율이 매우 높은 편이다.¹⁾

그러나 연안해역의 오염 가중 및 국제적인 규제강화(런던협약 '96 의정서) 발효를 앞두고 하수슬러지 등 폐기물의 해양배출규제가 대폭 강화됨에 따라 육상처리대책 마련이 시급한 실정이며, 2012년부터는 하수슬러지 및 축산폐수의 해양배출을 금지하는 것으로 국무회의에 보고됨에 따라 해

양오염방지법 시행규칙을 개정할 예정이다. 그간 해양에 배출해오던 하수슬러지를 재활용, 소각 등의 방법으로 처리해야 하므로 이에 대한 체계적 계획의 마련이 필요하다.²⁾

슬러지의 최종 처리방법을 살펴보면 크게 퇴비화, 고화, 건조, 소각, 고온용융, 열분해, 해양투기, 매립 등으로 분류할 수 있다.^{3,4)}

해양투기와 매립을 제외한 방법 중 다른 방법들을 적용하기 위해서는 슬러지 내의 함수율이 문제가 된다. 슬러지의 함수율은 처리비용을 결정하는 중요한 요소 중의 하나로 슬러지 처리비용을 절감시키고 슬러지 처리를 보다 효율적으로 하기 위해서는 슬러지 자체에 함유되어 있는 수분을 최소화하는 과정이 중요하다.⁵⁾

슬러지의 수분을 제거하는 방법 중에서 슬러지 농축(thickening), 개량(conditioning), 탈수(dewatering), 건조(drying) 등의 공법이 일차적으로 슬러지의 수분을 제거하는데 이용된다. 그 중에서 농축은 슬러지로부터 액체의 일부를 제거하여 슬러지의 고형물 함량을 높이는 과정이다. 농축은 일반적으로

[†] Corresponding author
E-mail: ysparkk@daegu.ac.kr
Tel: 053-650-8043

Fax: 053-650-8049

중력침전, 부상, 원심분리, 중력식 벨트 등의 물리적인 방법에 의하여 이루어진다.

슬러지 농축은 일반적으로 중력침전, 부상, 원심분리 등의 물리적인 방법을 이용하여 이루어지며, 슬러지 자체의 중력을 이용한 농축은 주로 1차 슬러지에 적합하다고 알려져 있으며, 슬러지 밀도가 1.01-1.09 g/cm³인 2차슬러지인 잉여슬러지에는 좋은 방법이 아닌 것으로 보고되고 있다.⁶⁾

슬러지 농축법 중에서 부상 농축방법에는 용존공기부상, 진공부상, 분산공기부상의 세 가지 방법이 있다. 용존공기부상법(DAF, Dissolved Air Flotation)은 가압상태에서 가포화된 물을 감압시킬 때 발생하는 미세기포가 상승하는 과정에서 수중의 콜로이드 물질과 충돌. 부착되는 원리를 이용하여 수중의 부유물질을 제거하는 수처리 방법이다.⁷⁾ 미국에서는 용존공기부상법이 슬러지 농축에 널리 이용되고 있다. 부상 농축은 활성슬러지법이나 부유성장 질산화 공정과 같은 부유 성장의 생물학적 처리 공정에서 배출되는 폐 슬러지를 농축시키는데 효과적으로 사용된다. 1차 슬러지, 살수여상 슬러지, 호기성 소화슬러지, 화학적 처리로 인하여 금속염을 함유한 슬러지도 역시 부상 농축시킬 수 있다.⁸⁾

본 연구는 팽화 상태에 있는 슬러지 농축에서 농축 효율을 증진시키기 위하여 슬러지의 탈수제로 사용되고 있는 폐 굴폐각이 팽화슬러지의 부상과 중력침전의 효율에 미치는 영향을 고찰하고 후속 공정인 탈수공정의 미치는 영향을 고찰하여 슬러지 농축 첨가제로서의 굴폐각의 적용가능성을 검토하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 실험재료와 반응기

실험에 사용한 슬러지는 M 제지사의 반송슬러지를 채취하여 No. 60 표준체로 체질한 뒤 폭기되는 저류조에 보관하였다. 슬러지는 인공 합성원수에 순응시켜 실험에 사용하였다. 실험에 사용한 M 제지사의 반송슬러지는 순응 후 SVI를 측정된 결과 350-450 mL/g을 나타내어 팽화가 발생한 상태였으며, 평균 반송슬러지 농도인 2,200 mg/L를 기준으로 실험하였다.

실험에 사용한 굴폐각은 수돗물로 세척하고 자연 건조시켜 도가니에서 분쇄하여 No. 60(250 μm) 표준체로 체질하여 250 μm 이하의 입자들만 사용하였다. 농도를 측정된 슬러지에 굴폐각을 0.2~5 g/L 투입하고 Jar-tester에서 300 rpm으로 30분 간 교반한 후 슬러지 밀도와 SVI 등을 측정하였다.

굴폐각 입도분포별 실험은 250 μm 이하의 입자를 황토의 입자별 부상 실험은 No. 60(250 μm), 100(150 μm), 140(106 μm) 및 270(53 μm)번 표준체로 체질하여 ~53 μm 입자, 53~106 μm, 106~150 μm, 150~250 μm 입자로 나눈 후 0.8 g/L를 투입하여 실험하였다.

실험에 사용한 DAF 장치는 크게 가압수조와 부상수조로 나뉘며, 가압수조는 내경 15 cm, 높이 50 cm이며, 총 부피는 8.83 L이고, 상부는 공기 유입구, 수도수 유입구 및 안전변

으로 이루어져 있고 하부는 배출구, 부상수조의 유출구로 이루어져 있다. 가압수조는 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 조절하였다. 가압수로는 수돗물을 사용하였으며, 예비 실험에서 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.⁹⁾

침전실험은 1 L 메스실린더를 이용하여 실험하였으며, DAF 실험서 사용한 슬러지와 같은 슬러지를 메스실린더에 채우고, 30분의 침강시간 후 SVI와 슬러지 농도를 측정하였다.

2.2. 분석 및 측정

2.2.1. 슬러지 농도와 SVI 측정

부상공정에서 농축된 슬러지 농도는 부상시간이 끝난 뒤 슬러지 계면 상부에서 피펫을 이용하여 채취한 뒤, 농도를 측정하였으며, 침전공정에서의 슬러지 농도는 30분의 침전 시간 후 피펫을 이용하여 슬러지 층에서 농도를 측정하였다.

부상수조 하부의 슬러지 농도는 부상수조 하부 5 cm지점의 채취구에서 50 mL를 폐기하여 남아있는 전 실험의 슬러지를 제거한 후 10 mL 채취하여 농도를 측정하였다. 침전공정의 상등수 슬러지 농도는 상부에서 채취하여 농도를 측정하였다.

SVI는 1 L 메스실린더를 이용하여 농도를 미리 측정된 슬러지를 투입시킨 뒤 30분 침강시킨 후 슬러지-물 계면 부피를 측정하여 아래의 계산식에 의해 계산하였다.

$$SVI = \frac{SV \times 10^3}{MLSS} \quad (1)$$

SVI : 슬러지 부피지수(mL/g)

SV : 슬러지 용적(mL/L)

MLSS : 슬러지 농도(mg/L)

2.2.2. 슬러지 계면높이 측정

슬러지의 농축이 진행됨에 따라 슬러지로부터 물이 빠져나가 점차 슬러지와 물의 경계면이 형성된다. 이러한 계면의 형성과 그 높이의 변화는 농축의 효율을 평가하는 중요한 수단이 되는데, 계면 높이 변화가 더 이상 일어나지 않을 때 농축공정은 완료되었다고 할 수 있다.¹⁰⁾

슬러지의 농축이 진행됨에 따라 슬러지가 부상수조 윗부분으로 부상하기 때문에 부상수조 윗부분부터 슬러지 계면이 형성된다. 계면이 형성된 후 부상수조 윗부분부터 줄자를 이용하여 계면높이를 측정하였다.

2.2.3. 슬러지 밀도 측정

일반적으로 밀도의 경우 대상 입자의 부피와 질량을 측정

하여 결정할 수 있으나 입자의 부피가 기하학적으로 잘 정의되어 있지 않은 입자의 경우는 비중병(pyknometer)을 이용하여 결정한다. 시료에서 고형분을 분리하기 위하여 3,000 rpm으로 운전되는 원심분리기에서 10분간 원심분리시킨 후 GF/C 여과지를 이용하여 5분간 여과시킨 후 분리된 슬러지 고형성분을 사용하여 아래와 같은 식을 이용하여 계산하였다.^{11,12)}

$$\rho_s = \frac{M_3 - M_1}{[M_2 - M_1] - [M_4 - M_3]} \times \rho_w \quad (2)$$

- 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)

2.2.4. 무기입자의 평균 입도 측정

굴패각 등의 입자는 현미경 관찰상 균일한 구형이 아니라, 긴 지름(bi)과 짧은 지름(ai)을 가지는 타원형을 나타내는 경우가 많았다. 그러므로 입자의 평균 직경은 현미경에서 사진을 촬영하고, Image analyser(Focus Technology, Image Inside)로 200개의 입자에 대해 장축과 단축을 구하여 아래와 같이 계산되는 직경 Di를 가지는 volume-equivalent 구형으로 전환하였다.¹³⁾

$$Di = \sqrt[3]{ai \cdot bi^2} \quad (3)$$

- 여기서, ai : 장축(μm)
- bi : 단축(μm)

평균 입자 크기는 식 (4)로 표현되는 Sauter mean diameter에 의해 구하였다.

$$\bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^n Di^3}{\sum_{i=1}^n Di^2} \quad (4)$$

- 여기서, \bar{D} : Sauter mean diameter
- n : 측정 횟수

2.2.5. 함수율 측정

여과 전 부상과 침전에 의한 슬러지 함수율은 슬러지 농도를 구하여 식 (5)에 의하여 구하였다. 부상과 침전실험이 끝난 시료를 채취하여 여과 후 Buchner funnel test 장치를 이용하여 함수율을 측정하였다. 미리 무게를 측정된 직경 47 mm인 GF/C 여과지를 패널에 놓고 시료 10 mL를 붓고 32 cmHg 진공에서 1분 동안 여과시킨 후 무게를 측정하고

105°C에서 2시간 건조시킨 후 무게를 측정하고 식 (6)에 의해 슬러지의 함수율을 측정하였다.

$$C_i = \frac{100 - P_s}{100} \times 100 \quad (5)$$

- 여기서 C_i : 슬러지 최초 함수율(%)
- P_s : 고형물 분율(%)

$$C_f = \frac{(W_w - W_f) - (W_d - W_f)}{(W_w - W_d)} \times 100 \quad (6)$$

- 여기서, C_f : 함수 후 함수율(%)
- W_w : 젖은 여과지 무게(g)
- W_f : 건조 여과지 무게(g)
- W_d : 공 여과지 무게(g)

3. 결과 및 고찰

3.1. 굴패각 첨가가 용존공기부상과 침전에 미치는 영향

신 등¹⁴⁾은 굴껍질의 성분을 분석한 결과 Ca와 Al, Mg 및 Na 등의 알칼리성 금속이 다량 존재하여 하수슬러지의 개량에 적용될 수 있으며, 고형물 함량이 3.4~4.6%인 소화슬러지 100 mL당 2.0 g 이상의 굴껍질을 개량제로 사용할 경우 25%의 고형물 함량을 얻을 수 있다고 보고하였다.

250 μm이하의 크기로 체질한 굴패각 투입량을 0.2~5 g/L로 조절하면서 슬러지의 습윤밀도와 SVI 변화를 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1에서 보듯이 굴패각이 투입되지 않은 슬러지의 습윤밀도는 1.06 g/mL이었으며, 굴패각이 5 g/L 투입되었을 때 습윤밀도(슬러지+굴패각의 겉보기 밀도)는 1.22 g/mL까지 증가하였다. 슬러지의 SVI는 굴패각이 투입되지 않았을 때는 429 mL/g이었으며, 1.6 g/L의 굴패각이 투입될 때까지 SVI는 158.2 mL/g으로 빠르게 감소되었으며, 5.0 g/L의 투입량에서는 57.5 mL/g로 나타나 초기에 비해 약 7.59배 감소되었다.

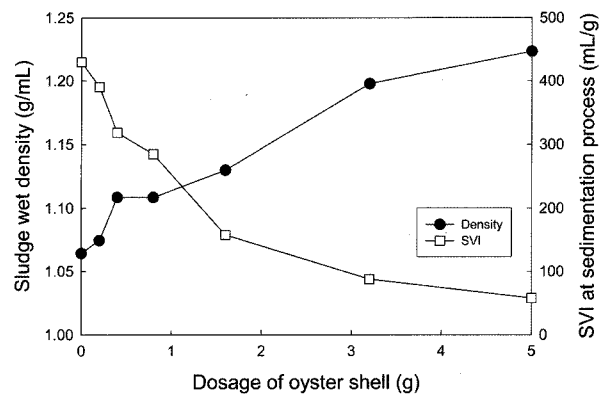


Fig. 1. Variation of sludge wet density and SVI with the oyster shell addition.

Fig. 2에 굴패각 투입에 따른 부상과 침전공정에서의 슬러지 농도 및 부상공정에서의 슬러지 계면높이를 나타내었다. Fig. 2에서 보듯이 굴패각이 투입되기 전의 부상공정에서 슬러지 농도 8,630 mg/L에서 굴패각 투입량에 따라 슬러지 농도가 증가하여 25,000 mg/L까지 증가하였다. 침전공정에서는 굴패각이 투입되기 전의 2,236 mg/L에서 굴패각 투입량에 따라 직선적으로 증가하여 5 g/L 투입시 17,388 mg/L까지 증가하였다.

Fig. 2에서 보듯이 부상공정에서의 슬러지 계면높이는 46 mm에서 굴패각 첨가량이 증가함에 따라 선형적으로 증가하여 5.0 g/L 투입시 58 mm까지 증가하였다.

실제 순수한 슬러지만의 농도로 표현하기 위하여 MLVSS를 구하여 굴패각이 첨가되지 않은 VSS/SS 비의 역수를 곱하여 식 (7)과 같이 굴패각을 제외한 슬러지 농도를 구하여 Fig. 3에 나타내었다.¹⁵⁾

$$MLSS(converted) = MLVSS(oyster\ addition) \times \frac{MLSS(raw\ sludge)}{MLVSS(raw\ sludge)} \quad (7)$$

굴패각의 최적 투입량은 0.8 g/L로 나타났으며 모든 굴패각 투입량에서 굴패각을 투입하지 않은 슬러지 농도보다 높게 나타났다. 0.8 g/L의 굴패각 투입시 농축 슬러지 농도는 11,764 mg/L로 나타나 굴패각이 투입되지 않았을 때의 부상 슬러지 농도인 8,617 mg/L보다 1.36배의 농도 증가를 나타내었다. 침전공정의 경우는 굴패각 투입량이 증가함에 따라 농축된 슬러지 농도가 선형적으로 증가하였으며, 5 g/L 투입시는 3.25배 높은 7,617 mg/L로 나타나 굴패각과 같은 응집보조제의 투입은 종래의 침전공정에서 슬러지 농축에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 부상공정을 이용한 슬러지 농축에서는 투입하지 않을 때보다 높게 나타나지만 부상공정의 특성상 보조제의 투입량의 많으면 슬러지의 무게와 밀도가 높아져 부상하기 어려워지기 때문에 최적 투입량이 나타난다고 사료되었다.

Fig. 4에 굴패각 첨가에 따른 부상과 침전공정에서의 농축 슬러지의 함수율을 나타내었다. 부상만 거친 슬러지의 함수율은 99.1%이며, 여과 공정을 거치면서 함수율은 95.5%로

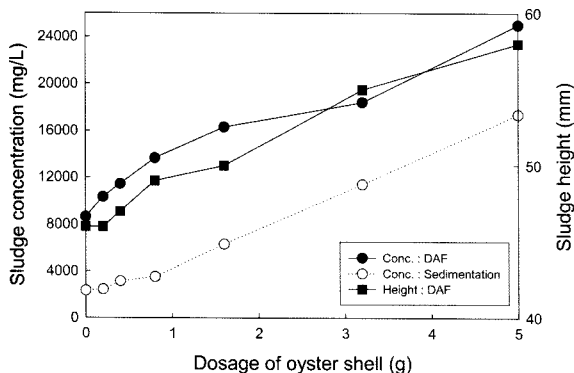


Fig. 2. Effect of oyster shell addition on the sludge concentration and interface height.

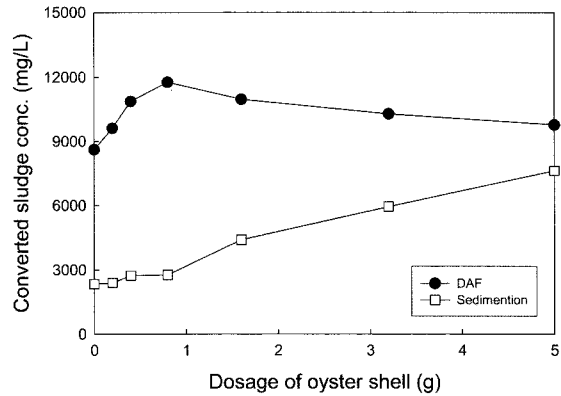


Fig. 3. Effect of oyster shell addition on the converted sludge concentration.

감소하여 여과에 의해 3.6%의 감소율을 보여 고형물 농도는 4.5%에 불과하였다. 굴패각 첨가량이 증가하면서 슬러지의 함수율은 감소하여 5.0 g/L 첨가시 여과 후 함수율이 82.7%까지 감소하였다. 최적 부상농도인 0.8 g/L의 굴패각이 첨가되었을 때의 부상 후 슬러지 함수율은 98.6%였으며, 여과공정을 거치면서 90.2%로 나타났다. 침전의 경우도 부상과 비슷한 경향을 나타내었다. 문 등¹⁶⁾은 200 mesh 체(75 μm)로 체질한 굴패각을 정수 슬러지 200 mL에 6, 7 g 주입시 슬러지 케이크 고형물 함량이 증가하고, 탈수시간이 단축되었다는 결과로 미루어 볼 때 부상 단계의 굴패각의 적용은 부상되는 슬러지의 농도를 증가시킬 뿐만 아니라 후속공정인 여과공정에도 긍정적인 역할을 하는 것으로 나타났다.

부상만 고려할 경우 최적 굴패각 주입량은 0.8 g/L, 후속공정인 여과까지 고려할 경우 최적 투입량은 5.0 g/L 이상일 것으로 나타났으나, 5.0 g/L의 경우 순수 농축 슬러지 농도가 투입량 0.8 g/L에 비해 10% 적기 때문에 후속공정과의 연계시 부상과 탈수 공정 각각에 대한 최적 투입량에 대한 연구가 필요할 것이라고 사료되었다.

Fig. 5에 pH를 7로 조절한 후 굴패각 첨가에 따른 pH 변화를 나타내었다. 그림에서 보듯이 굴패각 첨가에 따른 pH 변화는 적었으며, 0.8 g/L의 굴패각 첨가시 pH 7.13으로 나타나 변화가 거의 없었다.

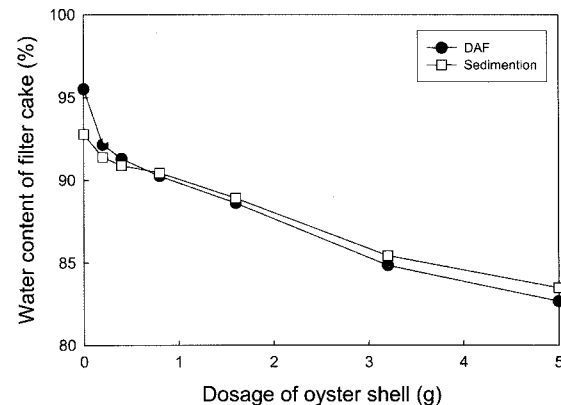


Fig. 4. Effect of oyster shell addition on the water content after filtration.

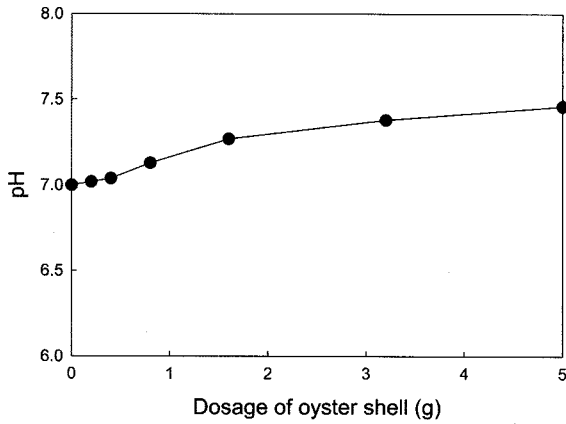


Fig. 5. Effect of oyster shell addition on the pH variation of sludge.

굴폐각 첨가가 팽화 슬러지의 용존공기부상과 침전에서 슬러지 농축이 향상되는 것은 정확하게는 알 수 없지만 신 등¹⁴⁾은 굴폐각의 성분을 분석한 결과 칼슘이 37.6%, 나트륨이 7,900 mg/L, 마그네슘이 2,300 mg/L 들어 있어 굴폐각 내에 존재하는 알칼리성 금속이 응집제의 역할을 한다고 보고하였고, 이¹⁷⁾는 굴폐각이 표면이 불규칙하고 비표면적이 커서 미생물이 쉽게 부착할 수 있는 특성과 칼슘 이온이 갖는 양전하의 역할로 응집을 촉진시켜 탈수 개량제로 사용 가능성이 충분하다고 보고하였다. 주 등¹⁸⁾은 유기고분자 응집제 대신 황토와 굴폐각을 이용하여 슬러지 개량제로서의 성능을 평가한 결과 탈수 개량제로서 사용가능하다고 보고하였다. 다른 연구 자료와 본 연구결과를 종합해 볼 때 판단할 때 굴폐각 표면 특성으로 슬러지가 잘 부착되고 굴폐각이 가지고 있는 양이온 때문에 음으로 하전된 슬러지 응집되는 응집보조제의 역할을 하기 때문이라고 사료되었다.

3.2. 입도분포가 다른 굴폐각 첨가가 용존공기부상과 침전에 미치는 영향

굴폐각을 비커에 투입하고 Jar-tester에서 혼합한 후 굴폐각이 혼합된 슬러지를 부상조에 투입할 때 비커 하부에 침전된 굴폐각 입자가 관찰되었다.

침전된 굴폐각 입자를 Fig. 6과 같이 사진촬영하고 image analyzer로 장축과 단축을 구한 뒤 sauter mean diameter를 구한 결과 약 173 μm 이었으며, 입도분포는 93~250 μm 인 것으로 나타났다. 침전된 굴폐각 입자의 크기가 큰 것으로 보아 굴폐각의 입도가 농축 공정에 영향을 미친다고 판단되어 굴폐각 입도를 달리하여 입도가 부상과 침전에 미치는 영향을 고찰하였다.

표준체를 사용하여 ~53 μm , 53~106 μm , 106~150 μm , 150~250 μm 입자로 나눈 경우의 sauter mean diameter의 경우는 각각 43.8 μm , 112.1 μm , 147.9 μm , 227 μm 으로 나타나 체질에 따라 비교적 고른 입도분포를 나타내었다. 혼합 굴폐각 입자 100 g을 입도별로 분류한 결과를 Table 1에 나타내었다.

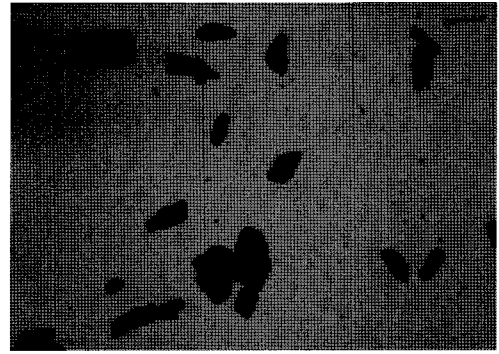


Fig. 6. Photograph of sedimented oyster shell during the mixing with sludge($\times 40$).

Table 1. Weight percentage of oyster shell with size distribution

Size distribution	~53 μm	53~106 μm	106~150 μm	150~250 μm
Weight percentage	5.9	35.1	21.6	37.4

Table 1에 나타내었듯이 150~250 μm 인 입자와 53~106 μm 인 입자가 가장 많은 것으로 나타났다.

Fig. 7에 1 L 비커에 2,180 mg/L인 슬러지에 혼합 굴폐각과 입도별로 분류한 굴폐각을 800 mg/L 첨가하고 Jar-tester에서 300 rpm으로 30분간 혼합시킨 후 다른 비커에 슬러지 + 굴폐각 혼합액을 옮겼을 때의 슬러지 농도와 MLVSS/MLSS 비를 나타내었다. 그림에서 보듯이 106 μm 이하인 굴폐각 입자의 경우 슬러지 농도와 굴폐각 농도를 합친 3,080 mg/L와 비슷하게 나타났으나, sauter mean diameter가 147.9 μm 이고 106 μm 이상의 입자의 경우는 이론적인 양보다 적은 것으로 나타났다. 또한 MLVSS/MLSS비도 다른 입도분포에 있는 굴폐각 입자의 경우 64.1~64.9% 범위에 있었으나 106 μm 이상의 입도를 가지는 굴폐각은 높게 나타났다. 이는 슬러지에 투입한 굴폐각 입자의 일부가 침전하였기 때문이라고 사료되었다. 혼합 입자(~250 μm)의 경우도 106 μm 이하의 크기를 가지는 입자들 보다 슬러지 농도는 40~65

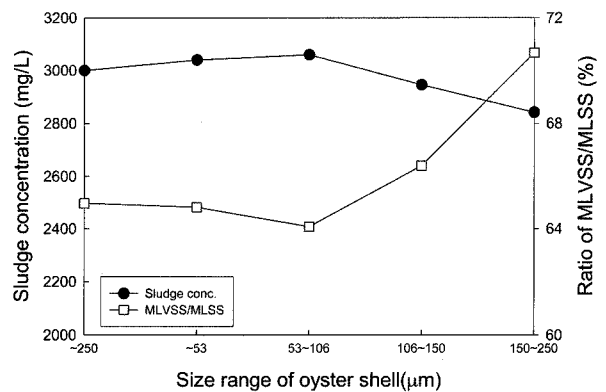


Fig. 7. Sludge concentration and MLVSS/MLSS ratio with size distribution of oyster shell.

mg/L정도가 낮게 나타났는데 이는 일부 입도가 큰 입자가 슬러지 플록 사이에 혼합되지 못하고 침전되었기 때문이라고 사료되었다.

Fig. 8에 입도 분포에 따른 부상과 침전공정에서의 슬러지 농도를 나타내었다. 부상공정의 경우 53~106 μm 범위에 있는 입자를 사용한 경우의 부상농도가 가장 높음으로 나타났다. Sauter mean diameter가 43.8 μm인 ~53 μm 입자의 경우는 106 μm 이상의 입자가 59% 있는 혼합 굴패각에 비해 부상농도가 높게 나타났으나 53~106 μm 범위에 있는 입자보다 낮게 나타났다. 입도 분포가 3.4~13.0 μm, sauter mean diameter인 6.2 μm인 kaoline을 슬러지 밀도 조절제로 사용하였을 때 일부 입자가 슬러지와 플록 형성에 참여하지 않고 수중에 존재한다고 보고한 박⁹⁾의 결과로 볼 때 입도가 적은 입자도 부상을 위한 첨가제에 적합하지 않은 것으로 사료되었다. 53~106 μm 범위의 입자와 150~250 μm 범위 입자의 부상농도 차이는 1.67배로 나타났고, 혼합 입자와는 1.16배 차이 있다. 침전의 경우 혼합 굴패각 입자와 150~250 μm 범위의 입자를 제외하고 침전에 의한 슬러지 농도는 거의 유사하게 나타났다.

Fig. 9에 슬러지 농도에서 굴패각 입자의 농도를 제외하고 순수한 슬러지 농도로 환산하였을 경우의 부상과 침전에 의한 슬러지 농도를 나타내었다. 침전에 의한 슬러지 농도는 150~250 μm 범위를 제외하고는 농축 슬러지 농도가 유사하게 나타났다.

굴패각과 같은 무기물 첨가에 의한 부상증진은 큰 입자의 경우 크기로 인한 증량 때문에 침전하는 경우가 생기고 작은 입자의 경우는 기포, 슬러지, 입자의 혼합 플록 형성시 플록에 참여하지 못하고 수중에 부유하기 때문에 투입되는 입자의 최적 입도가 존재하는 것으로 나타났으며, 최적 입도범위는 53~106 μm 부근인 것으로 사료되었다.

Fig. 10에 여과후 슬러지 함수율에 미치는 굴패각 입도의 영향을 나타내었다. 그림에서 보듯이 혼합 굴패각의 함수율은 90.2%였으나 53~106 μm의 입도에서는 함수율이 89.4%로 0.8%의 함수율 감소를 얻었으며 슬러지 농도와 후속공정인 여과공정에서도 최적 입도범위는 53~106 μm 부근인 것으로 사료되었다.

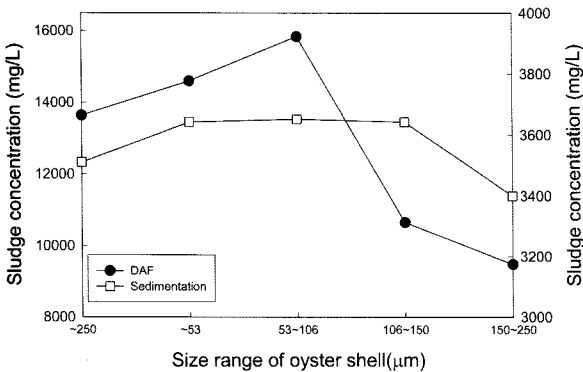


Fig. 8. Effect of size distribution of oyster shell on the sludge concentration.

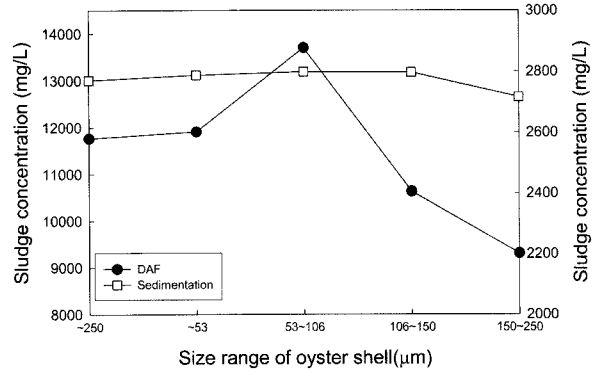


Fig. 9. Effect of size distribution of oyster shell on the converted sludge concentration.

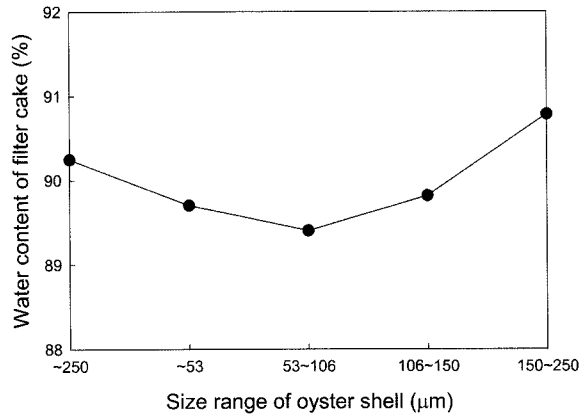


Fig. 10. Effect of size distribution of oyster shell on the water content after filtration.

4. 결론

팽화 상태에 있는 슬러지의 농축 효율을 증진시키기 위하여 폐 굴패각이 팽화슬러지의 부상과 증량침전에 효율에 미치는 영향과 후속공정인 탈수에 미치는 영향을 고찰하여 다음의 결론을 얻었다.

1) 굴패각이 투입되지 않은 슬러지의 습윤밀도는 1.06 g/mL이었으며, 굴패각이 5 g/L 투입되었을 때 습윤밀도는 1.22 g/mL까지 증가하였다. 굴패각의 최적 투입량은 0.8 g/L로 나타났으며 모든 굴패각 투입량에서 굴패각을 투입하지 않은 슬러지의 농도보다 높게 나타났다. 0.8 g/L의 굴패각 투입시 농축 슬러지 농도는 11,764 mg/L로 나타나 굴패각이 투입되지 않았을 때보다 1.36배의 농도 증가를 나타내었다. 침전공정의 경우는 5 g/L 투입시는 3.25배 높은 7,617 mg/L로 나타나 굴패각과 같은 첨가제의 투입은 종래의 침전공정에서 슬러지 농축에도 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 부상공정을 이용한 슬러지 농축에서는 투입하지 않을 때보다 높게 나타나지만 부상공정의 특성상 보조제의 투입량의 많으면 슬러지 밀도가 높아져 부상하기 어려워지기 때문에 최적 투입량이 나타난다고 사료되었다.

2) 부상만 거친 슬러지의 함수율은 99.1%이며, 여과 공정

을 거치면서 함수율은 95.5%로 감소하여 여과에 의해 3.6%의 감소율을 보였다. 굴폐각 첨가량이 증가하면서 슬러지의 함수율은 감소하여 5.0 g/L 첨가시 여과 후 함수율이 82.7%까지 감소하였다. 침전의 경우도 부상과 비슷한 경향을 나타내었다.

3) 입도분포에 따른 부상과 침전공정에서의 슬러지 농도를 나타낸 결과 부상공정에서는 무기물 입자의 증량과 크기로 인한 최적 입도가 존재하는 것으로 나타났으며, 최적 입도범위는 53~106 μm 부근인 것으로 사료되었다. 반면 침전에 의한 슬러지 농도는 입도가 커서 무거운 150~250 μm 범위를 제외하고는 농축 슬러지 농도가 유사하게 나타났다.

여과후 슬러지 함수율에 미치는 굴폐각 입도의 영향을 구한 결과 혼합 굴폐각의 함수율은 90.2%였으나 53~106 μm 의 입도에서는 함수율이 89.4%로 0.8%의 함수율 감소를 얻었으며 슬러지 농도와 후속공정인 탈수에서도 최적 입도범위는 53~106 μm 부근인 것으로 사료되었다.

참고문헌

1. 환경부, 2004하수도통계(2005).
2. 환경부, 하수슬러지관리계획수립지침(2006).
3. 신원우, "하수슬러지의 관리와 재활용정책," 폐기물자원화, **8**(4), 174~176(2000).
4. 이수구, 박경만, "C중유를 이용한 슬러지의 연료화기술-진공. 중발농축기술을 활용-, " 침단환경기술, **1**, 5~14(2003).
5. 황경사, 최준창, 김영택, 배윤선, 박철휘, "하수슬러지 농축 및 탈수를 위한 오존 적용가능성 연구," 대한상하수도학회 · 한국물환경학회 공동 추계학술발표회 논문집, F24~32(2004).
6. Choi, Y. G. and Chung, T. H., "Effects of Humus Soil on the Settling and Dewatering Characteristics of Activated Sludge," *Water Sci. Technol.*, **42**(9), 127~134(2000).
7. 김유창, 김재형, 신흥식, "용존공기부상(Dissolved air Flo-tation)을 이용한 수처리 기술," *機械와 材料*, **13**(2), 113~124(2001).
8. 고광백, 김영관, 윤주환, 이병현, 임봉수, 임재명, 한무영, 폐수처리공학, 동화기술, 서울, pp. 245~248(1995).
9. 박영식, "용존공기 부상법을 이용한 폐수 슬러지 함수율 감소 방안," 경북지역환경기술개발센터 과제 최종보고서, pp. 1~24(2006).
10. 이준, 부상공정에 의한 상수슬러지 농축, 서울대학교, 석사학위논문(2004).
11. Allen, T., Particle Size Measurement, 3rd ed., Chapman and Hall, New York, pp. 350~352(1981).
12. 이창한, "흡광도를 이용한 활성슬러지 농도 측정," 부산대학교 석사학위논문(1998).
13. Bailey, J. E., Ollis, D. F., Biochemical Engineering Fundamentals, 2nd ed., McGraw-Hill, New York, pp. 480~485(1986).
14. 신남철, 문종익, 정유진, 장혜정, 성낙창, "굴겹질을 이용한 하수슬러지의 탈수특성에 관한 기초연구," 한국환경위생학회지, **26**(2), 30~33(2000).
15. 김동석, 박영식, "슬러지의 성상이 DAF(Dissolved air flotation)를 이용한 팽화 슬러지의 농축에 미치는 영향," 한국물환경학회지, **22**(1) 97~103(2006).
16. 문종익, 최성문, 임영석, 성낙창, 김철, 곽영규, "분말 폐굴겹질을 이용한 정수슬러지의 탈수 개선방안," 한국환경위생학회지, **27**(2), 17~21(2001).
17. 이영경, "분말폐굴겹질을 이용한 정수슬러지의 탈수 개선방안에 관한 기초 연구," 동아대학교 석사학위논문(1999).
18. 주윤경, 문종익, 김정권, 김철, 윤태경, 성낙창, "폐굴겹질과 황토를 이용한 하수처리용 친환경적 탈수개발에 대한 기초 연구," 2001년 한국폐기물학회 춘계학술발표회 논문초록집, 167~170(2001).