



## 분쇄, 동결, 해동 등 전처리에 의한 하수슬러지의 성상 변화

선용호<sup>†</sup>

상지대학교 환경공학과

(2010년 6월 18일 접수, 2010년 6월 24일 수정, 2010년 6월 25일 채택)

## Change in the Characteristics of Waste Activated Sludge after Pretreatment of Grinding, Freezing and Thawing

Yong-Ho Seon<sup>†</sup>

Department of Environmental Engineering, Sangji University, Korea

### ABSTRACT

In this study, ways to help anaerobic digestion were studied and waste activated sludge were pretreated by grinding, thawing after freezing and grinding after freezing. The volumes of grinding sludge, thawing after freezing and grinding after freezing were decreased 2.08 times, 3.37 times, 3.54 times compared to the volume of sludge respectively and the larger decline in the sludge has been grinding after freezing, thawing after freezing, and grinding. In addition, when the concentrations of SCOD, SBOD and protein were compared, the concentration of freezing sludge was higher than others and the grinding after freezing method seems to be the highest concentration. When the TS, VS removal rates were compared, thawing after freezing method seems to be higher than others method. From these results, grinding after freezing method is very effective for the pretreatment of sludge and it can be expected grinding after freezing method can be an alternative method for prohibiting ocean dumping of sludge after 2012.

Keywords : Freezing, Waste activated sludge, Pretreatment, Sludge volume, SCOD

<sup>†</sup>Corresponding author : yhseon@sangji.ac.kr

## 초 록

본 연구는 하수슬러지 전처리 방법으로 분쇄, 동결 해동, 동결 분쇄 조작을 한 후, 각각의 슬러지 특성의 변화를 고찰하였다. 분쇄 슬러지, 동결 해동 슬러지, 동결 분쇄 슬러지는 하수슬러지 부피에 비해 각각 2.08배, 3.37배, 3.54배 감소하여 동결 분쇄한 경우가 가장 슬러지 감소량이 컸으며 그 다음으로 동결 후 해동한 경우, 분쇄만 한 경우 순이었다. 또한 하수슬러지의 SCOD 농도, SBOD 농도, protein 농도는 동결하지 않은 것보다 동결 하는 것이 높았고, 그 중에서도 동결 후 분쇄하는 것이 가장 높은 경향을 보였다. TS, VS의 제거율은 동결한 것이 높았지만, 동결 분쇄보다 동결 해동이 높은 경향을 보였다. 이상의 결과로부터 동결 분쇄 방법이 슬러지 전처리 방법으로 매우 효과적이며 2012년부터 발효되는 슬러지 해양 투기 전면 금지에 대한 대안이 될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어 : 동결, 하수슬러지, 전처리, 슬러지 부피, SCOD

## 1. 서론

인구의 증가 및 국민생활 수준의 향상과 더불어 하수 발생량은 매년 증가하며 이를 처리하기 위한 하수처리시설에서 배출되는 잉여 하수슬러지 양 또한 계속 증가하고 있다. 우리나라의 하수슬러지 발생량을 보면 2007년 347개 하수처리장에서 2,785,000톤의 하수 슬러지가 발생하여 68.5%인 1,908,000톤은 해양에 투기하여 처리하였으며, 13%에 해당하는 363,000톤을 소각 및 매립처리 하였으며 18.5%인 515,000톤만이 재활용되었다. 2011년까지 113개의 하수종말처리시설의 신설 및 증설이 계획되어 있어 앞으로 하수슬러지의 발생량은 2011년에는 전국 460개 하수처리장에서 3,750,000톤을 배출할 전망이나 지금의 하수슬러지 처리에서 제일 큰 비중을 차지하는 해양투기가 2006년에 발효된 런던협약에 따라 2012년부터는 전면 금지되므로 하수슬러지에 대한 근본 대책 마련이 필요한 실정이며 하수슬러지 처리를 위한 연구가 다각적으로 진행되고 있다<sup>1),2)</sup>.

하수슬러지를 처리하기 위한 방법으로는 육상매립, 해양투기, 고화, 퇴비화, 건조, 소각 등이 있으며 이러한 방법들은 고에너지를 요구하여 경제성이 떨어지고 그 처리효율 또한 낮으며 2차 환경오염을 일으키는 등의 많은 단점을 안고 있다<sup>3)</sup>.

따라서 하수슬러지를 가용화하여 메탄발효를 통해 바이오가스를 생산하는 기술이 에너지 관점에서 가장 바람직하나 지금까지 하수슬러지는 대부분 1단 또는

2단 혐기성소화공정에 의해서 처리되어 긴 체류시간 및 느린 반응속도, 낮은 처리효율, 그리고 공정의 불안정성 등이 문제점으로 지적되어 왔다<sup>4)</sup>. 이러한 문제점의 핵심은 하수슬러지가 대부분 호기성 박테리아 세포로 구성되어 있어 세포막 또는 세포벽에 의해 혐기성소화 기질이 차단될 수밖에 없으며 세포벽 또는 세포막이 와해되기 전까지는 혐기성소화를 위한 양질의 기질이 되지 못하는데 있다. 이를 해결하기 위한 하수슬러지 전처리 방법으로 고온 열처리, 알칼리 처리, 초음파 처리, 오존산화 처리, 효소 첨가 처리 등의 방법이 연구되고 있으나<sup>5)</sup> 악취 발생 문제,약품비 비용 증가, 불완전한 세포벽이나 세포막 파괴 등 여러 가지 문제점을 내포하고 있다.

본 연구에서는 지금까지 하수슬러지 전처리 공정에서 적용되지 않았던 동결방법을 적용하여 하수슬러지를 구성하고 있는 미생물을 동결, 해동, 분쇄 시킴으로써 세포벽이나 세포막을 와해시켜 효율적인 혐기성소화를 유도하기 위한 기술의 개발을 시도하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 실험 장치 및 방법

실험에 사용한 하수슬러지는 W시 하수종말처리장의 2차 침전조에서 배출되는 잉여 활성슬러지로 1차 시료, 2차 시료, 3차 시료, 4차 시료, 5차 시료를 각각 2009년 9월 7일, 9월 21일, 10월 6일, 10월 19일, 11월 9일의 오후 3시에서 4시 사이에 채취하여 바로 실

험을 수행하였다.

본 연구에서 추구한 슬러지 전처리 방법의 핵심은 고속으로 슬러지를 동결과 더불어 분쇄장치를 이용하여 분쇄 시킴으로써 혐기성 소화의 장애요인이 되고 있는 세포막 또는 세포벽의 손상을 유도하는 것으로 하고 있다. 이 방법을 채택한 동기는 장치가 매우 간단하고 분쇄에 의한 세포막이나 세포벽의 와해로 인한 세포 내 물질의 빠른 물질 전달과 입자크기 감소가 혐기성 소화를 용이하게 할 수 있기 때문이었다. 이렇게 동결된 슬러지를 분쇄/해동 처리함으로써 세포내 유기물의 가용화 및 저분자화가 가능하기 때문에 메탄 발효 효율 향상을 기대할 수 있다. 슬러지 충돌장

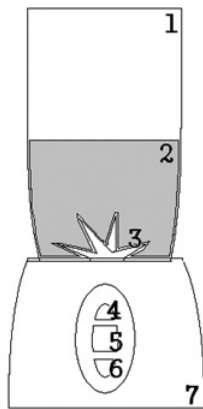
치는 날을 이용한 분쇄장치로 분쇄접은 동결된 슬러지의 충격에도 견딜 수 있고 충돌칼날은 특수 티타늄 칼날을 이용하여 분쇄가 가능하도록 제작된 것을 사용하였으며 이를 [Fig. 1]에 나타내었다.

일반적으로 미생물의 세포질은 대부분 단백질로 구성되어 있으므로 세포가 파괴되는 정도는 전처리 전후 슬러지의 단백질 정량분석으로 평가하였다. 하수처리장의 슬러지는 대부분 호기성 미생물로 구성되어 있고 호기성 미생물의 존재형태에 따라 후속처리인 혐기성 소화에 영향을 줄 수 있기 때문에 주변의 여러 가지 조건에 따라 슬러지 단백질 정량의 양이 다르다고 볼 수 있다.

실험은 대조구로 하수슬러지 자체, 하수슬러지 분쇄, 하수슬러지의 동결 후 자연적인 해동, 하수슬러지의 동결 후 분쇄 즉 4가지 실험 조건에서 수행하였으며 영하 20℃에서 동결하고, 상온(20℃)에서 해동하는 것으로 하였다.

### 2.2 분석 방법

BOD, SBOD, COD<sub>Mn</sub>, COD<sub>Cr</sub>, SCOD<sub>Mn</sub>, SCOD<sub>Cr</sub>, TS, VS, protein 항목에 대하여 시료를 채취하여 분석하였다. BOD는 시료를 20℃에서 5일간 저장하여 두었을 때 시료중의 호기성 미생물의 증식과 호흡작용에 의하여 소비되는 용존산소의 양으로부터 측정하는 방법이고, COD<sub>Mn</sub>은 산성 100℃에서 과망간산칼륨에 의한 화학적 산소요구량을 측정하는 방법이며 COD<sub>Cr</sub>은 중크롬산칼륨에 의한 화학적 산소요구량을 구하는 방법이다. TS(total solid)는 시료를 105~110℃로 가열하여 수분이 증발되고 남은 잔류물로서 증발 잔류물을 구하고, VS(volatile solid)는 총



1. Glass cap	2. Sample
3. Saw tooth a knife	4. Instant Power switch
5. Power switch	6. Stop switch
7. Mixer stand	

[Fig. 1] Schematic diagram of experimental apparatus.

[Table 1] Analytical Methods and Equipment Used in Experiment

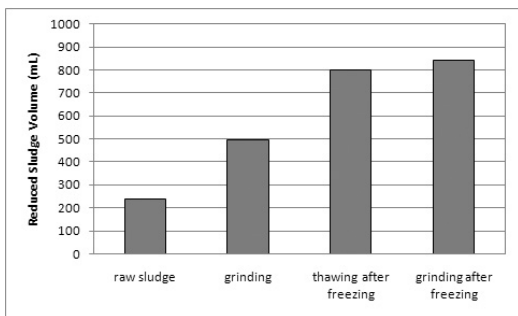
Parameter	Analytical Method	Equipment
COD <sub>Cr</sub>	EPA Standard Method (Closed Reflux Method)	Shimadzu UV-1601
COD <sub>Mn</sub>	KSM	Water Bath (Lab-1060)
BOD <sub>5</sub>	KSM	YSI Model 58, Incubator (R-IB120)
VS	KSM	Dry Oven, Furnace
TS	KSM	Dry Oven
Protein	Lowry Method	Shimadzu UV-1601

고형물을 550℃ 이상으로 강열시켰을 때 휘발되는 유기성분으로 강열감량을 구하여 측정하는 방법이다. 단백질 정량(Lowry법)은 알칼리성에서 단백질의 peptide 결합과 구리가 반응하여 Cu<sup>+</sup>이온을 생성하는 Biuret 반응의 원리를 이용하는 분석이다. 본 실험에 사용된 수질 분석법은 수질오염공정시험법(이하 KSM)<sup>6)</sup>과 EPA Standard Method<sup>7)</sup> 등을 이용하였으며 구체적인 방법과 사용기기는 [Table 1]과 같다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 슬러지 감소량

실험은 1,000mL 부피의 하수슬러지를 사용하여 이 슬러지를 자연 침강시킨 경우의 감소량과 이를 분쇄만 한 슬러지, 이 하수슬러지를 동결한 후 자연적으로 녹인 슬러지, 하수슬러지를 동결한 후 분쇄한 슬러지의 감소량을 측정된 결과를 [Fig. 2]에 나타내었다. 하수슬러지 자체, 분쇄만 한 슬러지, 동결 후 해동된 슬러지, 동결 후 분쇄한 슬러지 각각의 경우에 슬러지 감소량은 각각 237mL, 494mL, 798mL, 840mL로 동결 후 분쇄한 경우가 가장 슬러지 감소량이 컸으며 그 다음으로 동결 후 해동한 경우, 분쇄만 한 경우 순이었다. 분쇄한 경우와 비교하면 동결 후 분쇄한 경우, 동결 후 해동한 경우의 슬러지 감소량이 각각 1.70배, 1.62배가 더 크며 이는 분쇄 장치보다는 동결 장치가 슬러지의 침강성을 향상시키는데 더 유리함을 알 수 있다. 또한 동결 후 자연적으로 녹이는 것보다는 동결된 슬러지를 분쇄하는 것이 더 효과적임을 알

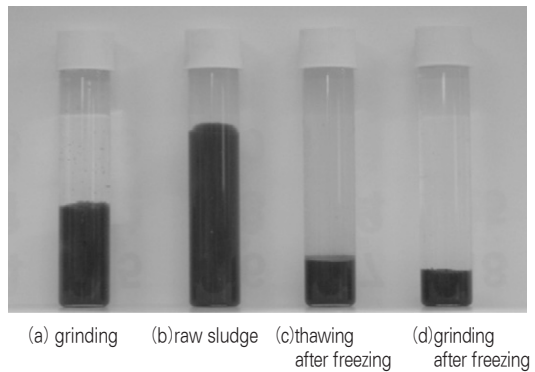


[Fig. 2] Reduced sludge volume with pretreatment methods.

수 있다. 하수슬러지 자체의 감소량을 기준으로, 분쇄만 한 슬러지, 동결 후 해동 슬러지, 동결 후 분쇄슬러지의 상대적인 감소량의 비는 각각 2.08배, 3.37배, 3.54배를 나타내었다. 전처리된 슬러지는 혐기성 소화조로 투입되며 고형물의 부피 감소로 인한 용해성 물질의 증가, 즉 SCOD 증가로 인해 소화조의 효율이 증대되고 처분 슬러지량의 감소, 바이오가스 생산량 증가로 경제성이 증가할 것으로 기대된다. 한편 동결 및 분쇄 처리가 에너지를 많이 소모하는 방법이므로 이에 대한 경제성 검토가 필요하다. [Fig. 3]은 앞에서 제시한 각각의 경우에 침강 양상을 보여 주는 사진이다.

#### 3.2 BOD와 SBOD의 변화

오염된 물의 수질을 표시하는 한 지표로 즉 유기물 농도의 간접 지표로 사용되고 있는 대표적인 것이 생물화학적 산소요구량(BOD<sub>5</sub>)이다. 하천·호소·해역 등의 자연수역에 하수, 공장폐수가 방류되면 그 중에 산화되기 쉬운 유기물질이 있어서 자연수질이 오염된다. 이러한 유기물질을 수중의 호기성세균이 산화하는데 소요되는 용존산소의 양을 mg/L 또는 ppm으로 나타낸 것이 생물화학적 산소요구량이다. 실제 물속에는 유기물질의 종류가 대단히 많아 일일이 그 농도를 각각 측정하는 일은 대단히 큰 작업이다. 따라서 이들이 물속에 들어와서 갖는 공통적 특성, 즉 호기성 미생물에 의해 소모되는 산소량만 측정하여 간접적으로 유기물의 양을 측정하는 방법이다. 이때 미생물은 유기물을 분해 섭취하여 세포를 합성하게 되며 없어진 유기질량 만큼 산소가 소모된다 하겠다. 따라서



[Fig. 3] The photography of sludge settling.

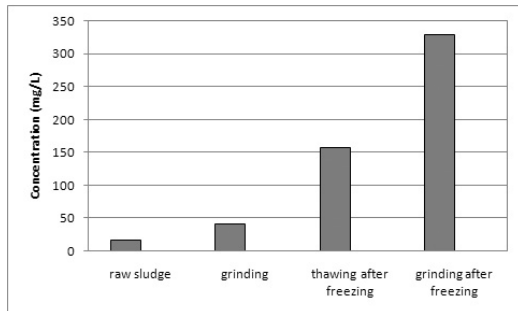
BOD 농도가 높다함은 수중에 유기물질이 다량 함유되어 미생물이 이것을 분해 안정화 하는데 많은 양의 산소를 소모해야 한다는 것이다. 따라서 이런 물에서는 DO가 낮아지거나 혹은 혐기성상태가 유발된다. 반대로 BOD 농도가 낮다는 것은 수중에 유기물질 함유량이 적어 적은 양의 산소가 소모되었다는 것이다. 따라서 BOD 농도는 수중의 DO의 상태를 파악할 수 있는 간접적 지표로서 유입된 유기물의 농도와 더불어 용존산소를 결핍시키는 잠재능력의 평가항목으로 이용되고 있다. 보통 BOD는 관습적으로 20℃에서 5일간 해당시료를 배양했을 때 소모된 산소량을 측정하는데 BOD<sub>5</sub>라고 하며 통상 그냥 BOD라고도 한다. SBOD는 부유물질을 걸러내고 BOD를 측정하는 것이다. SBOD 농도가 전처리에 의해 높아지면 후속의 산발효와 메탄발효의 성능을 높일 수 있다. [Fig. 4]는 하수슬러지 자체, 이를 분쇄한 한 슬러지, 이 하수슬러지를 동결한 후 자연적으로 해동시킨 슬러지, 하수슬러지를 동결한 후 분쇄한 슬러지의 SBOD 농도를 나타낸 것으로 하수슬러지의 BOD 농도는 각각 3,031.8 mg/L, 3,107.7 mg/L, 3,184.6 mg/L, 3,589 mg/L이었으며 SBOD 농도는 각각 16.9 mg/L, 40.8 mg/L, 157.5 mg/L, 329.7 mg/L이었다. BOD 농도 및 SBOD 농도는 하수슬러지 자체, 분쇄한 한 슬러지, 동결 후 해동된 슬러지, 동결 후 분쇄한 슬러지 순으로 높았다. 하수슬러지 자체를 기준으로 BOD 농도의 경우 각각 1.03, 1.05, 1.18배로 증가 폭이 매우 작았으나 SBOD 농도의 경우는 각각 2.41배, 9.32배, 19.5배로 매우 높은 증가 폭을 나타내었다. 이상에서 살펴보면 슬러지를 동결 후 분쇄하는 것이 다른 조작보다는 월등하게 SBOD 농도를 높일 수

있음을 알 수 있으며 즉 생물학적으로 분해가 잘되는 세포 내의 물질이 세포 밖으로 다량 유출된 것으로 추정할 수 있다.

### 3.3 COD와 SCOD의 변화

유기물 농도의 간접 지표로 흔히 사용되고 있는 것으로 화학적 산소요구량(COD)이 있으며, COD 측정 방법에는 산화제로 중크롬산칼륨을 사용하는 크롬법과 과망간산칼륨을 사용하는 망간법이 있으며 두 가지 방법 모두다 수중의 유기물을 산화시키는 것으로 COD 측정 원리는 같으며 산화정도의 차이이다. 크롬법이 국내에서 적게 사용되는 이유는 법적으로 망간법이 사용되고 있고 크롬법이 망간법보다 시약이 비싸고, 환경오염정도가 더 심하고 실험 후 폐액처리가 곤란하고 측정시간이 4배 더 길고 약조제와 factor 산출이 더 까다롭기 때문이다. 그러나 크롬법이 망간법보다 산화력이 더 크므로 크롬법이 이론적인 산소요구량에 더 가깝기 때문에 더 정확한 수치를 보이므로 서구지역에서는 더 많이 사용되고 있으며 앞으로 우리나라도 이 방법으로 완전 전환할 가능성이 크며 법적으로 일부 사용되고 있다. SCOD는 혐기성 소화에서 혐기성 미생물의 성장 및 에너지원으로 사용되는 중요한 지표로서 그 양이 많을수록 미생물 군의 수와 활동도가 증가되어 혐기성 소화의 효율을 증대시키는 역할을 한다. 이러한 이유로 인하여 최적의 혐기성 소화를 위해 슬러지가 유입될 시 슬러지를 전처리하여 SCOD의 극대화를 유도하게 되며 이를 위해 본 실험에서는 전처리를 달리하여 SCOD의 변화를 관찰하였다.

[Fig. 5]는 하수슬러지, 분쇄한 한 슬러지, 동결 후 해동된 슬러지, 동결 후 분쇄한 슬러지의 크롬법과 망간법에 의한 전처리 방법에 따른 SCOD<sub>Cr</sub>와 SCOD<sub>Mn</sub> 농도를 나타낸 것이다. 하수슬러지, 분쇄한 한 슬러지, 동결 후 해동된 슬러지, 동결 후 분쇄한 슬러지 각각의 경우에 COD<sub>Cr</sub>의 농도는 각각 10,041.7 mg/L, 10,142.3 mg/L, 10,244.5 mg/L, 10,781.7 mg/L이었으며 전처리 전 하수슬러지의 SCOD<sub>Cr</sub> 농도는 22.7 mg/L이었으며 분쇄의 경우에는 53.1mg/L, 동결 후 해동의 경우는 208.3 mg/L, 동결 후 분쇄의 경우에는 435.9 mg/L로 나타나 동결 후 분쇄에서 가장 큰 SCOD<sub>Cr</sub> 변화량을 보여주고 있으며 SBOD의 경우



[Fig. 4] Variation of SBOD concentration with pretreatment methods.

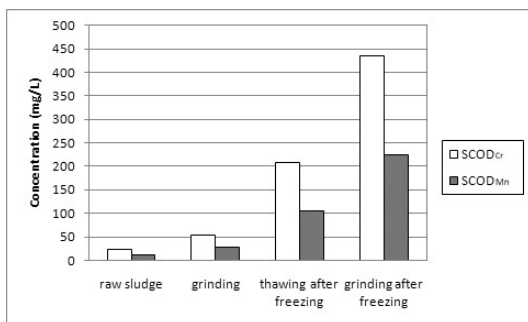
와 거의 비슷한 경향을 나타내고 있다. 전처리 전 하수슬러지를 기준으로 하였을 때 분쇄, 동결 후 해동, 동결 후 분쇄한 슬러지의 경우 각각의 SCOD<sub>Cr</sub> 증가비는 2.34배, 9.18배, 19.20배를 나타내었으며 이는 분쇄, 동결과 같은 전처리에 의해 슬러지 중에 함유되어 있는 입자상의 유기물질이 붕괴되어 고형물질을 용해성 유기물질로 변환할 뿐만 아니라 미생물 세포벽을 파괴함으로써 세포 내 존재하는 용해성 유기물질을 방출하여 SCOD<sub>Cr</sub>가 증가된 것으로 사료된다.

가용화율은 용해성 COD(SCOD)의 생성으로 다음과 같이 나타낼 수 있다<sup>5)</sup>.

$$\text{가용화율, Solubilization(\%)} = \frac{(\text{SCOD} - \text{SCOD}_{\text{raw}}) / (\text{TCOD}_{\text{raw}} - \text{SCOD}_{\text{raw}})}{\times 100}$$

분쇄만 한 슬러지, 동결 후 해동된 슬러지, 동결 후 분쇄한 슬러지의 경우에 가용화율을 계산하면 각각 0.30%, 1.85%, 4.12%로 동결 분쇄가 가장 큰 가용화율을 나타내고 있으며 동결 해동의 가용화율과 동결 분쇄의 가용화율은 분쇄에 비해 6.17배, 13.73배 더 큰 수치를 보이고 있다.

망간법에 의한 COD<sub>Mn</sub> 분석 결과를 살펴보면 전처리 전 하수슬러지의 SCOD<sub>Mn</sub> 농도는 11.1 mg/L이었으며 분쇄의 경우에는 26.8 mg/L, 동결 후 해동의 경우는 105.3 mg/L, 동결 후 분쇄의 경우에는 223.7 mg/L로 나타나 동결 후 분쇄에서 가장 큰 SCOD<sub>Mn</sub> 변화량을 보여주고 있으며 SBOD 또는 SCOD<sub>Cr</sub>의 경우와 거의 비슷한 경향을 나타내고 있다. 전처리 전 하수슬러지를 기준으로 하였을 때 분



[Fig. 5] Variation of SCOD<sub>Cr</sub> and SCOD<sub>Mn</sub> concentration with pretreatment methods.

쇄, 동결 후 해동, 동결 후 분쇄한 슬러지의 경우 각각의 SCOD<sub>Mn</sub> 증가비는 2.41배, 9.49배, 20.15배로 SCOD<sub>Cr</sub>의 경우와 유사한 수치를 보이고 있다.

### 3.4 VS와 TS의 변화

VS(Volatile solid)는 TS(Total solid)내 휘발성 고형물을 말한다. TS 내 VS 함량은 유기물질의 양을 의미하여 혐기성 소화공정에서 안정화되어 감소되며, VS의 제거율은 고형물 감소에 따른 혐기성 소화 효율을 나타내기 위한 지표로서 이용되어진다.

TS와 VS는 아래의 식과 같은 관계에 있으며 FS는 주로 무기물질로 구성되어 있다.

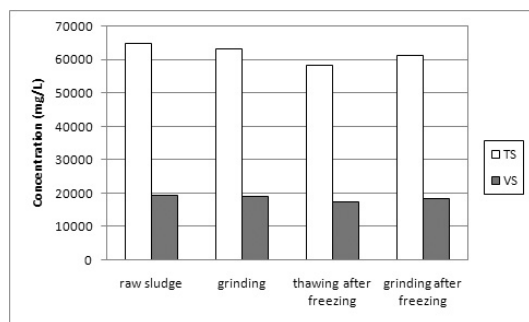
$$TS = VS + FS$$

여기서, TS : Total solid, [mg/L]

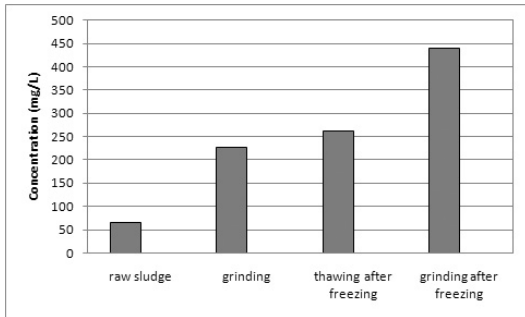
VS : Volatile solid, [mg/L]

FS : Fixed solid, [mg/L]

[Fig. 6]은 하수슬러지, 분쇄만 한 슬러지, 동결 후 해동된 슬러지, 동결 후 분쇄한 슬러지의 전처리 방법에 따른 TS 및 VS 농도의 변화를 나타낸 것으로 TS 농도는 각각 64,800 mg/L, 63,100 mg/L, 58,400 mg/L, 61,300 mg/L이었으며 VS 농도는 각각 19,400 mg/L, 18,900 mg/L, 17,500 mg/L, 18,400 mg/L이었다. TS 제거율을 보았을 때 동결 후 해동이 9.88%로 가장 높았고, 동결 후 분쇄 5.40%, 분쇄 2.62% 순이었다. VS 제거율과 FS 제거율도 동결 후 해동, 동결 후 분쇄, 분쇄 순이었으나 수치도 거의 유사한 값을 나타내었다. 이것으로 보았을 때



[Fig. 6] Variation of TS and VS concentration with pretreatment methods.



[Fig. 7] Variation of protein concentration with pretreatment methods.

물리적 처리된 슬러지를 동결 후 해동이나 동결 후 분쇄 하였을 시에 고형물 감소가 평균 6% 이상 증가될 수 있어서 슬러지 발생량 감소를 기대할 수 있었으며 이는 휘발성 지방산과 같은 휘발성 물질로 변하여 질량이 변한 결과로 사료된다.

### 3.5 protein 농도의 변화

전처리 방법을 이용한 여러 조작 조건에서 protein 의 농도 변화를 [Fig. 7]에 나타내었으며, 하수슬러지 자체의 protein 농도가 65mg/L로 나타났다. 전처리 방법을 달리 하였을 경우 protein의 농도는 분쇄는 226mg/L, 동결 후 해동은 263mg/L, 동결 후 분쇄의 경우 440mg/L를 각각 나타내어 동결 후 분쇄의 경우 protein의 농도가 가장 높은 것으로 나타났으며, 하수슬러지 protein 농도 비교 시 동결 후 분쇄는 6.77배, 동결 후 해동은 4.05배, 분쇄는 3.48배의 농도의 증가를 보였다.

## 4. 결론

본 연구에서는 지금까지 하수슬러지 전처리 공정에 서 적용되지 않았던 동결방법을 적용하였으며 세포벽 이나 세포막을 와해시켜 혐기성 처리를 효과적으로 하기 위한 것이다. 하수슬러지를 구성하고 있는 미생 물을 분쇄, 동결 후 해동, 동결 후 분쇄 조작을 한 후, 각각의 슬러지의 특성을 고찰한 결과 다음과 같은 결 론을 얻을 수 있었다.

1. 하수슬러지 자체, 분쇄한 슬러지, 동결 후 해동된 슬러지, 동결 후 분쇄한 슬러지를 자연 침강시킨

각각의 경우에 하수슬러지 침강 부피에 비해 각 각 2.08배, 3.37배, 3.54배 감소하여 동결 후 분 쇠한 경우가 가장 슬러지 감소량이 컸으며 그 다 음으로 동결 후 해동한 경우, 분쇄만 한 경우 순 이었다.

2. 하수슬러지, 분쇄 슬러지, 동결 해동 슬러지, 동 결 분쇄 슬러지의 SBOD 농도는 각각 16.9 mg/L, 40.8 mg/L, 157.5 mg/L, 329.7 mg/L 로 하수슬러지 자체를 기준으로 SBOD농도는 각 각 2.41배, 9.32배, 19.5배 증가하였으며 슬러지 를 동결 후 분쇄하는 것이 가장 SBOD 농도가 높 았다.
3. 하수슬러지, 분쇄 슬러지, 동결 해동 슬러지, 동 결 분쇄 슬러지 각각의 경우에 SCOD<sub>Cr</sub> 농도는 22.7 mg/L, 53.1mg/L, 208.3 mg/L, 435.9 mg/L로 나타나 동결 후 분쇄에서 가장 큰 SCOD<sub>Cr</sub> 변화량을 보여주고 있어 고형물질을 용 해성 유기물질로 변환할 뿐만 아니라 미생물 세 포벽을 파괴함으로써 세포 내 존재하는 용해성 유기물질을 방출하여 SCOD<sub>Cr</sub>가 증가된 것으로 사료된다.
4. 분쇄만 한 슬러지, 동결 해동 슬러지, 동결 분쇄 슬러지의 경우에 가용화율은 각각 0.30%, 1.85%, 4.12%로 동결 분쇄가 가장 큰 가용화율 을 나타내고 있으며 동결 해동의 가용화율과 동 결 분쇄의 가용화율은 분쇄의 가용화율에 비해 6.17배, 13.73배 더 큰 수치를 보이고 있다.
5. 하수슬러지 자체를 기준으로 한 경우 분쇄, 동결 해동, 동결 분쇄 슬러지의 각각의 SCOD<sub>Mn</sub> 증가 비는 2.41배, 9.49배, 20.15배로 SBOD 및 SCOD<sub>Cr</sub>의 경우와 유사한 경향을 보이고 있다.
6. TS 제거율은 동결 후 해동이 9.88%로 가장 높았 고, 동결 후 분쇄 5.40%, 분쇄 2.62% 순이었다. VS 제거율과 FS 제거율도 동결 후 해동, 동결 후 분쇄, 분쇄 순이었고 수치도 거의 유사한 값을 나타내었다. 이것으로 보았을 때 동결 후 해동이 나 동결 후 분쇄 하였을 시에 고형물 감소가 평균 6% 이상 증가될 수 있어서 슬러지 발생량 감소를 기대할 수 있었다.
7. 하수슬러지의 protein 농도 기준으로 동결 분쇄 가 6.77배, 동결 해동은 4.05배, 분쇄는 3.48배 의 농도의 증가를 보여 SBOD 농도, SCOD 농도

의 경우와 마찬가지로 동결 분쇄가 가장 높은 protein 농도를 나타내었다.

### 사사

이 논문은 2008년도 상지대학교 교내 연구비 지원에 의한 것으로 이에 감사를 드립니다.

### 참고문헌

1. 환경부, 2007년 하수도 통계, 환경부 (2008).
2. 류지훈, 이종진, 홍주화, 장기운, 이규승, 박관수, 한기필, “땀부유물 톱밥과 하수슬러지를 이용한 퇴비화 연구”, 유기성자원학회지, 18(1), pp. 98~103 (2010).
3. 안재환, 조완선, 배우근, “습식산화에 의한 하수슬러지의 분해 및 유기산 생성 특성”, 한국폐기물학회지, 21(1), pp. 19~26 (2004).
4. 선용호, “고농도 유기 폐수 처리를 위한 펄스 유동식 혐기성 Biofilter의 설계 및 시운전”, 한국화학공학회지, 32(4), pp. 533~540 (1994).
5. 윤용수, 강광남, 최석순, “초음파를 이용한 하수슬러지 분해에서 유기물 방출과 질소 거동”, 유기성자원학회지, 10(4), pp. 75~80 (2002).
6. 최규철, 수질오염 공정시험기준 주해, 동화기술 (2002).
7. APHA, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th ed., American Public Health Association, pp. 5~17 (1998).
8. 명숙, 김형석, “초음파 전처리가 하수슬러지의 혐기성 산발효 반응에 미치는 영향”, 한국폐기물학회지, 21(8), pp. 826~832 (2004).
9. 전수환, 이경훈, 권준영, 류현남, 김동일, “Pluronic F-68이 동결보존된 형질전환 담배세포의 해동 후 세포생장에 미치는 영향”, 한국생물공학회지, 22(5), pp. 313~317 (2007).
10. 이승희, “굴림통 분쇄기를 이용한 폐형광등 Base Cap으로부터 알루미늄 회수에 대한 연구”, 한국폐기물학회, 20(6), pp. 612~619 (2003)
11. Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering : Treatment and Reuse, 4rd ed., McGraw-Hill, pp. 887~930 (2003).
12. Wett, B. and W. Rauch, “The Role of Inorganic Carbon Limitation in Biological Nitrogen Removal of Extremely Ammonia Concentrated Wastewater”, Wat. Res., 37, pp. 1100~1110 (2003). 