

Bio-Solid의 탈수성 개선 및 감량화를 위한 초음파 적용

박철¹, 하준수², 김영욱^{3*}

¹(주)그린텍환경컨설팅, ²고려대학교 건축사회환경공학과 환경정책연구소

³명지대학교 토목환경공학과

Dewaterability Improvement and Volume Reduction of Bio-Solid using Ultrasonic Treatment

Park Cheol¹, Ha Jun Soo², Kim Young Uk^{3*}

¹Greentech Environmental Consulting Co.

²School of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University

³Department of Civil and Environmental Engineering, Myongji University

요약 이 연구에서는 하수 처리 시 발생하는 잉여슬러지의 탈수성을 증대시켜 탈수 후 최종슬러지 케이크를 감소시키기 위해 초음파 적용 가능성을 검토하였다. 이번 연구에서 사용된 슬러지는 하수처리장에서 직접 채취한 탈수 전 잉여슬러지이며 여기에 초음파 조사시간과 조사강도를 달리 가하여 탈수성 변형특성을 고찰하였다. 실내의 실험을 동시에 수행하였으며 각각 용량이 다른 세 개(7리터, 1톤, 7톤)의 처리조를 제작 활용하였다. 초음파 처리 시간과 처리강도에 따라 탈수성 및 감량화 판단 인자로 사용되는 CST와 점도의 변화를 측정하였다. 연구결과 초음파 조사시간이 길어질수록 원 시료의 CST가 증가하는 경향을 보였으나 조사한 슬러지에 응집제를 첨가할 경우 도리어 초음파 강도와 조사시간에 따른 CST가 아주 낮게 최고점의 20%까지 측정되었다. 초음파에 의한 점도 변화는 최고점의 40%까지 감소하였다. 또한 원심력에 따른 슬러지의 침하를 분석하였는데 초음파를 가하고 응집제를 첨가한 슬러지의 초기 침하속도가 더 빠르며, 최종침하량에도 더 빨리 도달한 것으로 나타났다. 연구결과 초음파 조사시간과 초음파 강도가 탈수성에 큰 영향을 주는 것으로 나타났으며 연구결과를 현장에 도입할 경우 잉여슬러지의 탈수능 향상과 최종 탈수케이크 감량화에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 기대된다. 가능성 평가를 위하여 대형 처리조를 처리장에 설치 운영하여 탈수케이크의 CST 및 함수율 변화를 고찰하였으며 실험실과 유사한 결과(최고 50% 감소)를 도출하였다.

Abstract This study examined the effectiveness of ultrasound on enhancing the dewaterability and volume reduction of bio solids from a waste treatment plant. The test specimen was obtained from a storage tank immediately before the dewatering process at a local treatment plant. The test conditions included the energy levels of ultrasonic waves and treatment time. The tests were undertaken using three types of different treatment processors (7 liter, 1 ton, 7 ton container). The capillary suction time (CST) and the viscosity of sludge, which is one of the influencing factors for dewaterability, were obtained under various test conditions. The results showed that ultrasound increases the CST of the raw specimens, whereas a significant reduction (20 % of the maximum value) of CST occurred in the sample with ultrasound and flocculent. The decrease in viscosity reached 40 % of the maximum value. A centrifugal test was performed to examine the characteristics of the sludge settlement. The settling rate and time required to reach the final values were both enhanced by the ultrasonic energy. An ultrasonic treatment is potentially useful tool for reducing the amount of released sludge. To examine the possible use of field application, the real scale sonic processor was designed and operated. The results were similar (50 % of the maximum value) to those of laboratory experiments

Key Words : Bio solid, Centrifugal separation, CST, Flocculent, Sludge dewatering

본 논문은 한국환경산업기술원 연구과제로 수행되었음.

*Corresponding Author : Young Uk Kim(Myong Ji Univ.)

Tel: +82-10-3153-6417 email: yukim@mju.ac.kr

Received March 28, 2014

Revised (1st May 7, 2014, 2nd May 14, 2014)

Accepted June 12, 2014

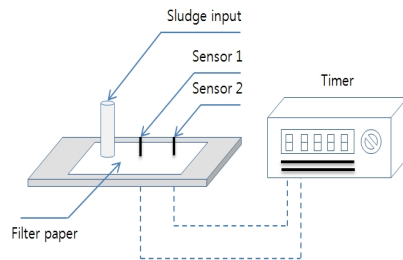
1. 서론

우리나라의 하수처리장이 급격히 증가하고 있으며 그에 따른 처리량도 기하급수적으로 늘어나고 있다. 처리 부산물인 슬러지 발생량의 지속적인 증가와 해양매립이 금지됨에 따라 슬러지의 처리방법과 활용방안에 대한 새로운 방법 모색이 매우 시급하다. (과학기술부, 1999) 특히, 일일 슬러지 발생용량이 50톤미만인 중소도시 처리장의 경우 자체소각처리가 불가하므로 효율적이고 친환경적인 탈수 및 처리기술의 개발이 절실히 필요하다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방법으로 열적처리, 오존처리, 산업기처리 및 냉동처리 등을 활용하기도 한다. (Müller, 2001, ; Neyens and Baeyens, 2003) 이처럼 다양한 슬러지 감량화에 대한 기술개발과 이에 따른 연구가 지속적으로 진행되어 왔는데 그 중 친환경적 물리처리법 중 하나인 초음파의 활용에 대한 연구가 다양하게 진행되어 왔다. (오철, 2002 ; 나승민 등, 2005) 초음파의 슬러지에 대한 활용은 1951년까지 거슬러 올라간다. Lyons(1951)이 처음으로 활성슬러지에 초음파를 가하여 슬러지의 침강속도 변화를 고찰하였다. 그 후 초음파의 단독(Banks and Walker, 1977; Bien et al. 1997; Wang et al. 2006) 및 타기술과의 병행 적용연구(Yoon et al. 2002; Jung et al. 2005; Yoon et al. 2007; Lee et al. 2008; Seo et al. 2011; Mo et al. 2013)가 진행되어 왔으며 초음파의 활용가능성에 대하여 꾸준히 고찰하였다. 이는 초음파가 순수물리적 진동에 의한 2차오염의 피해가 없는 친환경적 장치를 활용한 처리법이고 최근의 급격한 초음파 단자기술, 즉 발전기와 진동자의 국산화 및 기술의 발전으로 경제적인 대용량 처리가 가능해진 이유이기도 하다. 적용 메커니즘은 초음파를 적용할 경우 이에서 발생하는 미세기포의 파괴에너지 즉, 높은 온도(>5,000 K)와 압력(>1,000 atm)을 슬러지 입자와 흡착수의 특성변화를 유도하는 것이다. 국외에서는 이미 이에 대한 기술 상용화를 이루었으나 국내에서는 실험실 위주의 연구만 다양하지 실현장에 대한 적용성에 대한 연구와 실처리장에서의 활용성에 대한 고찰은 아직 미흡하여 이에 대하여서는 여전히 추가적인 연구가 필요하다. 따라서, 이 연구에서는 하수 처리 시 발생하는 잉여슬러지의 탈수성을 증대시켜 슬러지 케이크를 감소시키기 위해 초음파의 실현장 적용 가능성을 검토하였다. 연구의 최종목적은 일일 슬러지 발생량이 비교적 적은 중소형 하수처리장을 대상

으로 발생 슬러지의 감량을 위하여 초음파를 적용하고 슬러지의 점도와 탈수성의 함수관계를 활용 해당 기술운전의 자동화를 이룩하는 것이다. 이를 위하여 서울소재 하수처리장에서 직접 채취한 탈수 전 잉여슬러지를 사용하여 실내(중소형 처리조)와 현장 실대형 처리조를 이용하여 초음파 전처리에 따른 탈수율 및 점도의 변화에 대하여 고찰하였다.

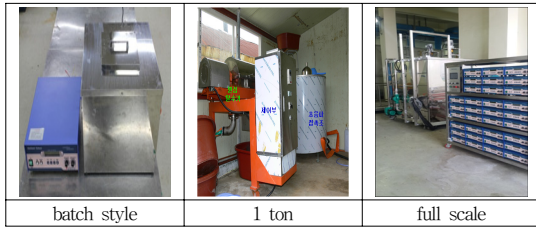
2. 초음파 처리 실험 재료 및 조건

본 실험에서 사용한 슬러지는 서울소재 중소형 하수처리장에서 채취한 탈수전 잉여슬러지로 초음파 조사에 따른 탈수성변화를 확인하고자 하였다. 슬러지 샘플은 현장의 슬러지 저장고에서 직접 채취하여 냉장보관 후 모든 실험에서 3일 이내에 사용되었다. 탈수성 변화는 시료의 CST (capillary suction time) 변화를 고찰하여 판단하였는데, 이는 여과지의 일정한 거리를 시료에서 탈리된 물이 흡수되어 전파되어 가는 시간을 말한다. 표준여과지(Whatman 17CHR)에 의해 발생된 모세관흡입압이 시료의 간극수를 빨아들이는 현상을 이용한 것이다. 탈수성이 불리한 시료의 경우 높은 CST 값을 나타내게 된다. Fig. 1은 CST 시험 장치의 모식도를 보여주고 있다.



[Fig. 1] CST tester

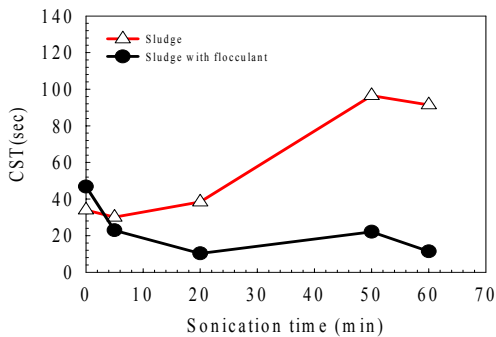
초음파 반응기는 bath형인 소형, 1톤 처리조, 그리고 현장 적용형으로 제작한 대형 처리조로 구분된다. 이에 대한 개략적 형태는 Fig. 2와 같다. 사용된 초음파 트랜스듀서는 28 kHz로 맞추어져 있고 제어부에서 단자의 전기출력을 조정할 수 있도록 제작하였다. 처리조에 시료를 준비하여 초음파 처리에 따른 시료의 CST 변화를 고찰하여 탈수성 변화를 고찰하였다.



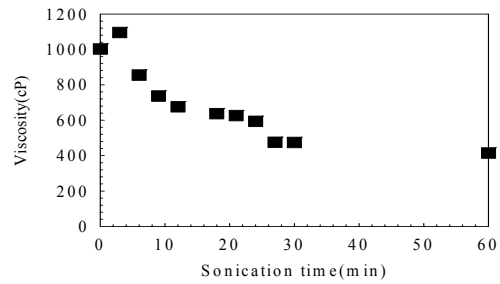
[Fig. 2] Schematic diagram of ultrasound treatment reactors

3. 실험결과 및 고찰

1차로 소형 처리조(bath type)를 제작 실내실험을 수행하였다. Batch style 처리조에 하수슬러지 7L를 준비한 다음 초음파 조사시간(5min, 10min, 20min, 30min, 50min, 60min)과 조사강도 154W를 가한 후 CST 변화를 측정하였다. Fig. 3과 같이 원시료에 초음파를 가할 경우 시료의 CST가 점점 증가하는 것으로 나타났다. 이는 기존 연구(오철, 2002)와 상반된 결과를 보여주고 있는데, 이는 사용된 슬러지 샘플(잉여슬러지)이 기존연구와 매우 다름으로 인해 발생한 것으로 판단된다. 그러나 초음파를 조사한 슬러지에 응집제를 첨가할 경우 도리어 초음파 강도와 조사시간에 따른 CST가 대부분 낮게 측정되었다. 이는 잉여슬러지의 세포벽이 파괴되어 고형에서 액상의 형태로 바뀌고 있음을 나타낸다고 판단된다. 이는 슬러지의 점도변화(초음파 처리 전후)에서도 알 수 있는데, Fig. 4에 초음파 조사에 따른 슬러지의 점도 변화를 보여준다. 슬러지의 점도가 초음파를 가할수록 감소하여 일정값에 수렴하고 있음을 보여주고 있으며 고형물에서 액상의 형태로 변화되고 있음을 간접적으로 알 수 있다.



[Fig. 3] CST variation with time

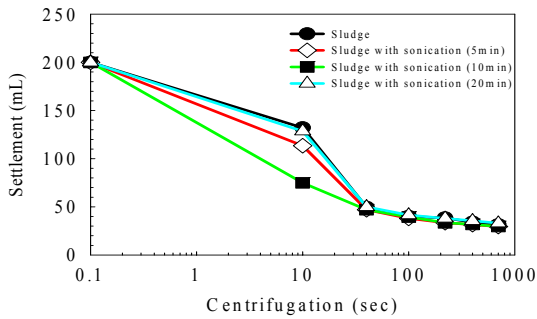


[Fig. 4] Viscosity change with sonication

처리장에서 생성된 잉여슬러지는 원심탈수 과정을 거치게 되는데, 초음파로 처리한 슬러지의 원심력 침하 양상을 알아보기 위한 실내실험을 수행하였다. 원시료에 초음파를 처리한 후 응집제를 투여한 상태를 Fig. 5에 나타냈다. 그림에서와 같이 응집제 투여 및 초음파 적용에 따른 응집현상이 각각 다르게 나타났는데, 이를 원심분리기에 넣고 원심력에 따른 슬러지의 침하(원심력과 케이크 양)를 분석하였다. 실험결과 초음파를 가하고 응집제를 첨가한 슬러지의 초기 침하속도가 더 빠르며, 최종 침하량에도 더 빨리 도달하는 것으로 보이며 이를 Fig. 6에 정리하였다.

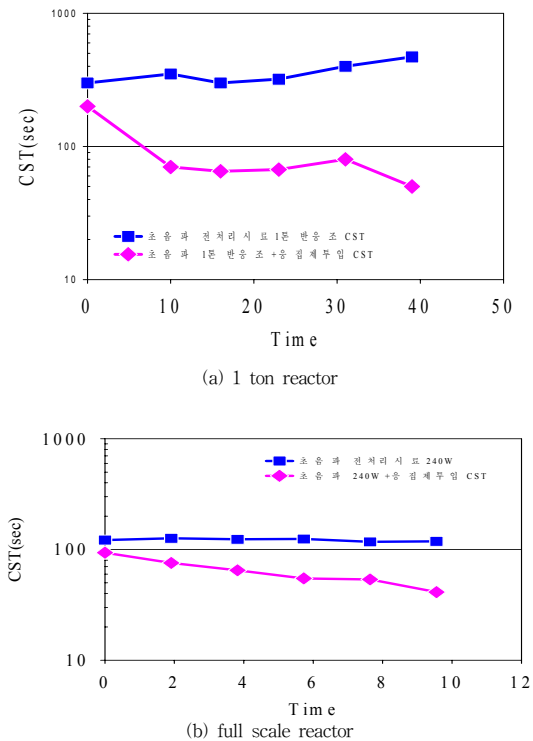


[Fig. 5] Dewatering Sample added flocculent



[Fig. 6] Centrifugal settling of treated sludge sample

현장적용 가능성을 평가하기 위하여 처리조의 용량을 증가시켜 동일한 실험을 수행하였다. Fig. 7은 1톤과 5톤의 슬러지에 초음파를 가할 수 있는 처리조에서의 실험 결과(CST 변화)를 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 처리조 내에서 초음파에 노출된, 가한 시간에 따른 슬러지의 CST가 점점 감소하는 것으로 나타났다. 실험결과 초음파조사시간과 초음파 강도가 탈수성에 큰 영향을 주는 것으로 나타났으며 현장에 적용할 경우 잉여슬러지의 탈수능 향상 및 감량화에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.



[Fig. 7] CST variation with different reactor and time

4. 결론

본 연구에서는 바이오 슬러드의 탈수성을 증대시키기 위해 초음파를 적용하고 이의 현장 및 실용화 가능성을 실험을 통하여 검토하였다. 하수처리장에서 탈수 전 잉여슬러지에 초음파 조사시간과 조사강도를 달리 가하여 탈수성 변형특성을 고찰하였다. 초음파 조사시간이 길어 질수록 원시료의 CST가 증가하는 경향을 보였으나 조사한 슬러지에 응집제를 첨가할 경우 도리어 초음파 강도와 조사시간에 따른 CST가 점점 낮아지는 것으로 측정되었다. 원심력에 의한 슬러지의 침하에서도 초음파를 가하고 응집제를 첨가한 슬러지의 침하속도가 빨라지며, 최종침하량에도 짧은 시간에 도달한 것으로 나타났다. 현장적용 가능성 평가를 위하여 중/대형 처리조를 추가로 제작 후 처리장에 설치 운영하였으며 탈수케이크의 CST 및 함수를 변화를 고찰 하고 실험결과 유사한 결과를 도출하였다. 이번 연구결과에 따르면 초음파조사시간과 초음파 강도가 탈수성에 큰 영향을 주는 것으로 나타났으며 잉여슬러지의 탈수능 향상 및 감량화에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] Banks, C. J. and Walker, I. (1977), Sonication of Activated Sludge Flocs and the Recovery of their Bacteria on Solid Media, *Journal of General Microbiology*, Vol.98, pp. 363-368.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1099/00221287-98-2-363>
- [2] Wang, F., Ji, M. and Lu, S. (2001), Influence of Ultrasonic Disintegration on the Dewaterability of Waste Activated Sludge *Environmental Progress*, American Institute of Chemical Engineers, Vol.25, No.3, pp. 257-260.
- [3] Müller, J. A. (2003), Prospects and problems of sludge pre-treatment processes, *Water Science and Technology*, Vol. 44, No. 10, pp. 51-67.
- [4] Bien, J. B., Kempa, E. S. and Bien, J. D. (1997), Influence of ultrasonic field on structure and parameters of sewage sludge for dewatering process, *Water Science and Technology*, Vol. 36, No.4, pp. 287-291.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0273-1223\(97\)00444-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0273-1223(97)00444-7)
- [5] Neyens, E. and Baeyens, J. (2003), A review of thermal sludge pre-treatment processes to improve dewaterability, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 98, No. 1, pp.51-67.

DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0304-3894\(02\)00320-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0304-3894(02)00320-5)

- [6] Lyons, W. A. (1951), The effect of ultrasonics on suspended matter in sewage, Sewage Indust Waste, Vol. 23, No.9, pp. 1084.
- [7] NA, S. M., Park, J., Kim, Y., and Khim, J., (2005), Enhanced Dewaterability and Physico-chemical Characteristics of Digested Sewage Sludge by Ultrasonic Treatment, KSWM, Vol. 22, No.7, pp. 637-634.
- [8] SAMSUNG ENGINEERING (1999), Developing the new technology of dewatering sewage sludge, Ministry of Science and Technology, 99-J-CG-01-B-21.
- [9] Oh, C., Kim, Y., and Kim, B., (2002), Enhanced Dewaterability of Sewage Sludge by Ultrasonic Treatment, KSWM, Vol. 19, No.8, pp.929-932.
- [10] Yoon, Y. S., Kim, K. N., and Choi, S. S. (2002), Release of Organic Matter and Behavior of Nitrogen in the Degradation of Sewage Sludge Using Ultrasound, KORRA, Vol. 10, No. 4, pp. 75-80.
- [11] Jung, B. G., Ko, H. W., Song, H. Y., Kim, D. Y., Park, J. H., and Ha, S. A. (2007), A Study on the Pretreatment for Solubilization of Sewage Sludge by Ultrasound and Alkaline, The Korean Society of Water and Wastewater, Vol. 2005, pp. 115-118.
- [12] Yoon, Y. S., Jeong, J. Y., Han, D. W., Lee, S. C., and Kim, D. J. (2007), Effect of Heat and Ultrasound on Solubilization of Wastewater Sludge, Korean Society of Water Quality, Vol. 2007, pp. 837-842.
- [13] Lee, E. K., Min, B. D., and Han, L. S. (2008), Comparison of Solubilization Efficiency Using Microwave and Ultrasound for Pre-treatment of Sewage Sludge, Journal of Korean solid wastes engineering society, Vol. 25, No. 6, pp. 546-553.
- [14] Seo, J. W., Han, J. S., Ahn, C. M., Min, D. H., Yoo, Y. S., Yoon, S. U., Lee, J. G., Lee, J. Y., and Kim, C. G. (2011), Study on Characteristics of Solubilization for Sewage Sludge Using Electronic Field and Ultrasonification, Korean Society Of Environmental Engineers, Vol. 33, No. 9, pp. 636-643.
- [15] Mo, W. J., Han, J. S., Ahn, C. M., Yoon, S. U., Seok, H. J., and Kim, G. (2013), Korean Society Of Environmental Engineers, Vol. 35, No. 1, pp. 23-30.

박 철(Cheol Park)

[정회원]



- 2000년 2월 : 한양대학교 환경공학(공학석사)
- 2007년 8월 : University of Memphis 환경공학과(공학박사)
- 2008년 4월 ~ 2010년 8월 : Villanova University Villanova PA, USA 연구조교수
- 2010년 12월 ~ 현재 : 그린택환경건설링 이사

<관심분야>
환경공학

하 준 수(Jun-Soo Ha)

[정회원]



- 1994년 2월 : 고려대학교 토목환경공학과(공학석사)
- 2003년 2월 : 고려대학교 토목환경공학과(공학박사)
- 2004년 1월 ~ 현재 : 고려대학교 건축사회환경 공학과 연구교수

<관심분야>
환경공학

김 영 욱(Young-Uk Kim)

[정회원]



- 1991년 2월 : 고려대학교 토목환경공학과 (공학석사)
- 2000년 5월 : The Pennsylvania State University 토목환경공학과 (공학박사)
- 2001년 3월 ~ 현재 : 명지대학교 토목환경공학과 교수

<관심분야>
토양오염 복원, 환경공학, 토질역학