

초음파로 처리된 소화슬러지의 비저항계수(SRF)와 모세관흡입시간(CST)을 이용한 탈수특성 비교

나승민*, 박지호**, 김영욱**, 김지형*

*고려대학교 사회환경시스템공학과

**명지대학교 토목환경공학과

e-mail: hange76@korea.ac.kr

Comparison of the Dewatering Characteristic Using Specific Resistance and Capillary Suction Time of Digested Sewage Sludge by Ultrasonic Treatment

Seung-Min Na*, Ji-Ho Park**, Young-Uk Kim **,
Jee-Hyeong Khim*

*Dept. of Civil & Environmental Engineering, Korea University

**Dept. of Civil & Environmental Engineering, Myongji
University

요 약

We investigated the effect of ultrasound on the dewaterability of sewage sludge. Because, dewatering and disposal of waste sludge is a major economical factor in the operation of wastewater treatment plants. Capillary Suction Time(CST) and Specific Resistance to Filtration (SRF) were used to evaluate the sludge dewatering behaviors. From the results of the experiment, it was found that ultrasonic treatment can improve the dewaterability. We discovered that CST and SRF were highly related, according to the correlation coefficient(R^2).

1. 서론

우리나라는 과거 60%에 머물렀던 하수처리율이 80%까지 향상되면서, 하수처리장에서 발생하는 유기성 슬러지의 양 또한 급격히 증가하고 있다. 이렇게 발생된 슬러지 처리 가운데, 슬러지의 함수율은 소각 및 재활용등에 있어 처리비용을 결정짓는 가장 중요한 요소가 됨으로써, 슬러지의 탈수성 개선방안에 관한 연구가 활발히 시도되고 있다.

탈수성 개선방안으로는 열적처리(thermal treatment)^[4], 오존(ozone)처리^{[2],[6]}, 초음파처리^{[1],[7]}, 산·염기처리^[9] 및 동결처리^[14] 등이 다양하게 이용

되고 있다^{[12],[13]}. 이 가운데 초음파처리는 슬러지의 가용화율(solubilization)이 오존처리나 알칼리처리에 비해 높으며^{[15],[16]}, 슬러지 탈수효율 향상에 영향을 미칠 수 있다^{[8],[16]}. 또한, 환경에 무해하며 2차오염 부산물 생성이 없어 다른 개선방법에 비하여 유용하지만, 실제 슬러지종류별 탈수효율에 관한 구체적인 자료는 부족한 실정이다.

따라서 본 연구는 초음파처리시간, 초음파 주입 강도에 따른 CST와 SRF변화를 확인함으로써 추가적인 약품주입 없이, 초음파 처리에 따른 소화슬러지의 탈수율 증대효과를 관찰하였다.

2. 초음파 처리 실험방법 및 조건

초음파 조사에 따른 슬러지 탈수성 변화를 확인하기 위해서 G 하수처리장의 혐기성 조건에서 소화된 슬러지를 사용하였다. 채취한 슬러지는 혼합슬러지로, 90~95%의 함수율을 보이며, 소화 후 약품조를 통과하기 직전의 배관에서 직접 채취하여 냉장보관 후 모든 실험에 15일 이내에 사용되었다.

2.1 초음파 조건

초음파 반응기(sonicator)는 일반 연구실에서 가장 널리 이용되는 Clean Bath형으로 반응기의 밑단에 초음파 전단인자를 설치하여 시료에 균일하게 에너지가 전달되도록 하였다. 초음파 반응기는 36×36×36cm규격의 스틸(steel)재질의 판으로 제작되었으며, 실험의 운전조건은 Table.1과 같이 실시하였다.

Table.1 Experiment conditions of ultrasonic treatment

Parameter	Condition
Frequency	28kHz
Process	Batch test
Sample volume	200, 300mL
Ultrasonic power (W)	300, 600
Temp. (°C)	Not control (15→60°C)
Reactor type	Clean bath type
Operation time	0(control), 10, 30, 60, 90, 120min

2.2 CST & SRF test

CST(Capillary Suction Time, 모세관흡입시간)는 여과지의 일정한 거리를 시료의 물이 흡수되어 전과되어 가는 시간을 측정하는 것이다. 표준 여과지에 의해 발생된 모세관 흡입압(Capillary Suction Pressure)은 슬러지로부터 물을 빨아들인다. 이때 스며드는 물의 비율은 슬러지 입자의 크기, 친수성 정도 및 여과지의 여과능력에 따라 달라지는데 탈수성이 불량한 시료의 경우 CST 수치는 높게 나타나고 탈수성이 양호한 시료의 경우는 짧게 나타난다^[15]. Fig. 1은 CST tester의 모식도를 나타낸 것이다.

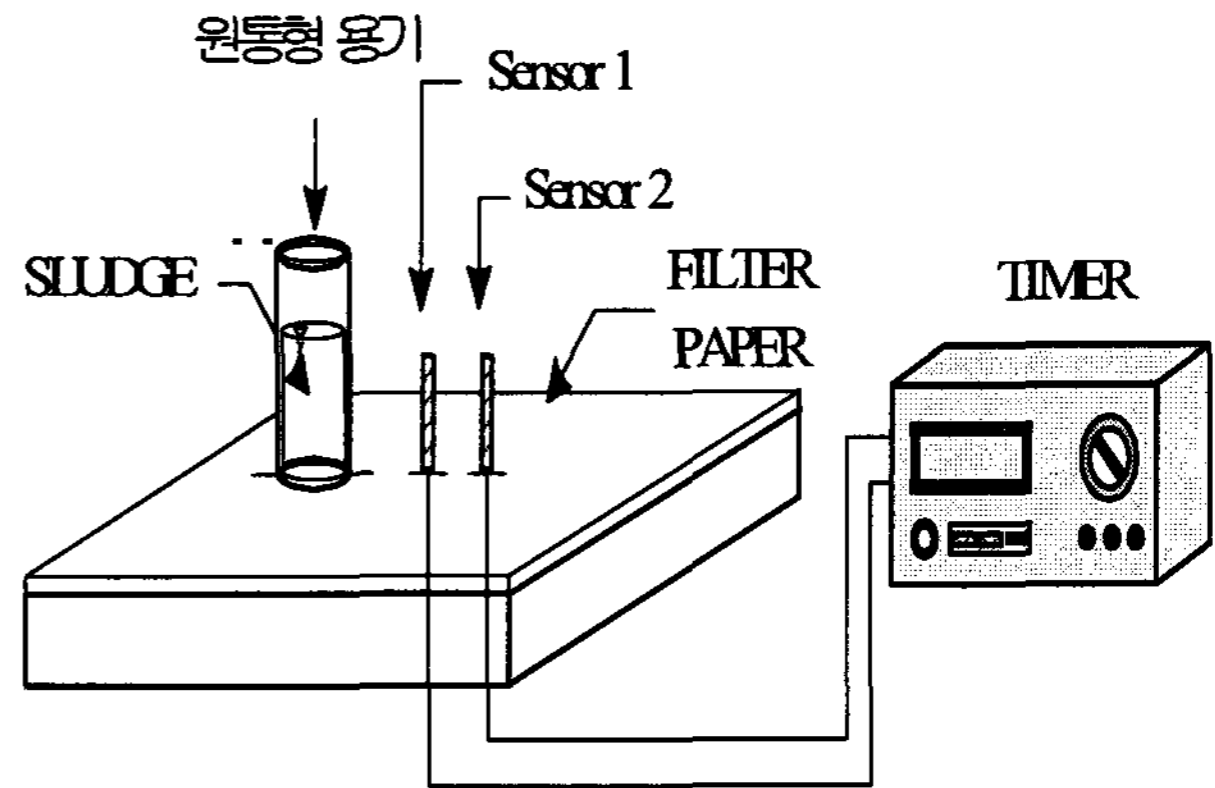


Fig. 1 CST tester

SRF(Specific resistance to filtration - 비저항시험)은 슬러지의 탈수성을 평가하는 하나의 간접지표로서, 다공성 물체를 분리면으로 하여 그 전·후 압력차에 의해 현탁액 중 고체입자를 탈리액과 분리하는 하나의 기계적인 조작이다. 본 연구에서는 SRF를 Fig. 2에 제시한 Büchner Funnel System을 이용하여 구하였다^{[3],[11]}.

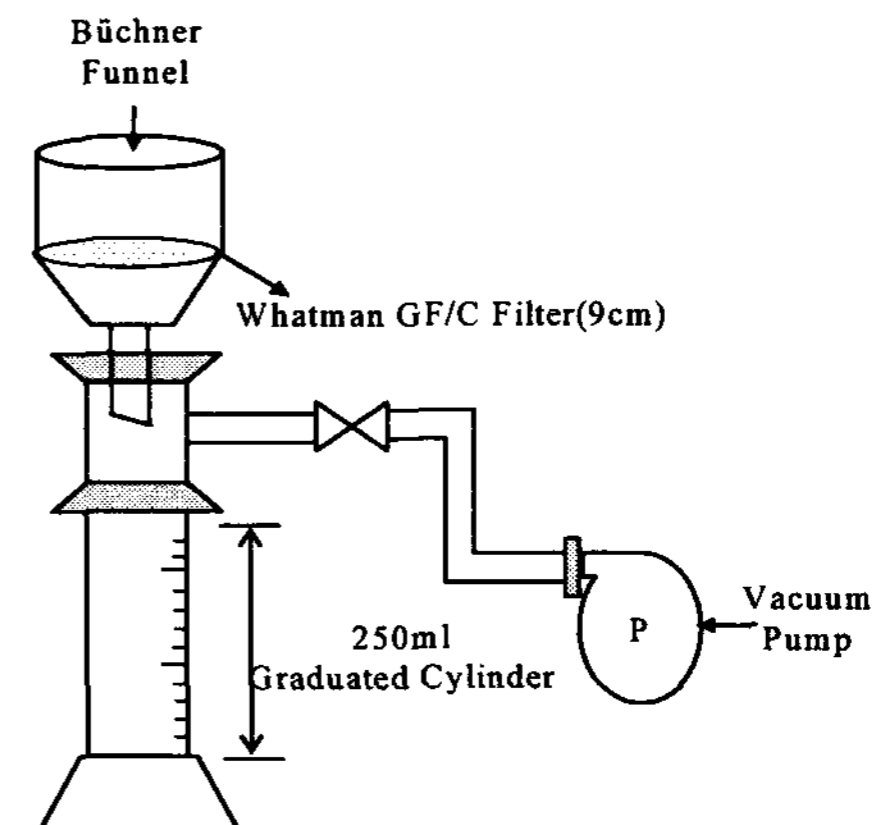


Fig. 2 Experimental setup of Büchner funnel test

3. CST & SRF 실험 결과

본 연구에서는 초음파 처리에 따른 소화슬러지의 탈수성 변화를 CST와 SRF 시험등을 통하여 알아본 결과, Fig. 3, Fig. 4와 같이 나타낼 수 있었다.

Fig. 3은 초기 CST를 80~90(sec)로 일정하게 고정시킨 G소화슬러지 300ml를 각각의 초음파 강도로 10min, 30min, 60min, 90min동안 조사하여 CST를 측정하였다. 시험결과, 초음파 강도 및 조사시간이 증가함에 따라 CST가 크게 감소하여 하수슬러지의 탈수성이 향상되었다. 300W, 600W의 초음파 강도의 경우 초기 약 10~30분이 경과 할 때까지

CST가 오히려 증가하는 양상을 보이는데, 이는 세포벽의 파괴로 오히려 슬러지의 점도가 증가하기 때문인 것으로 판단된다.

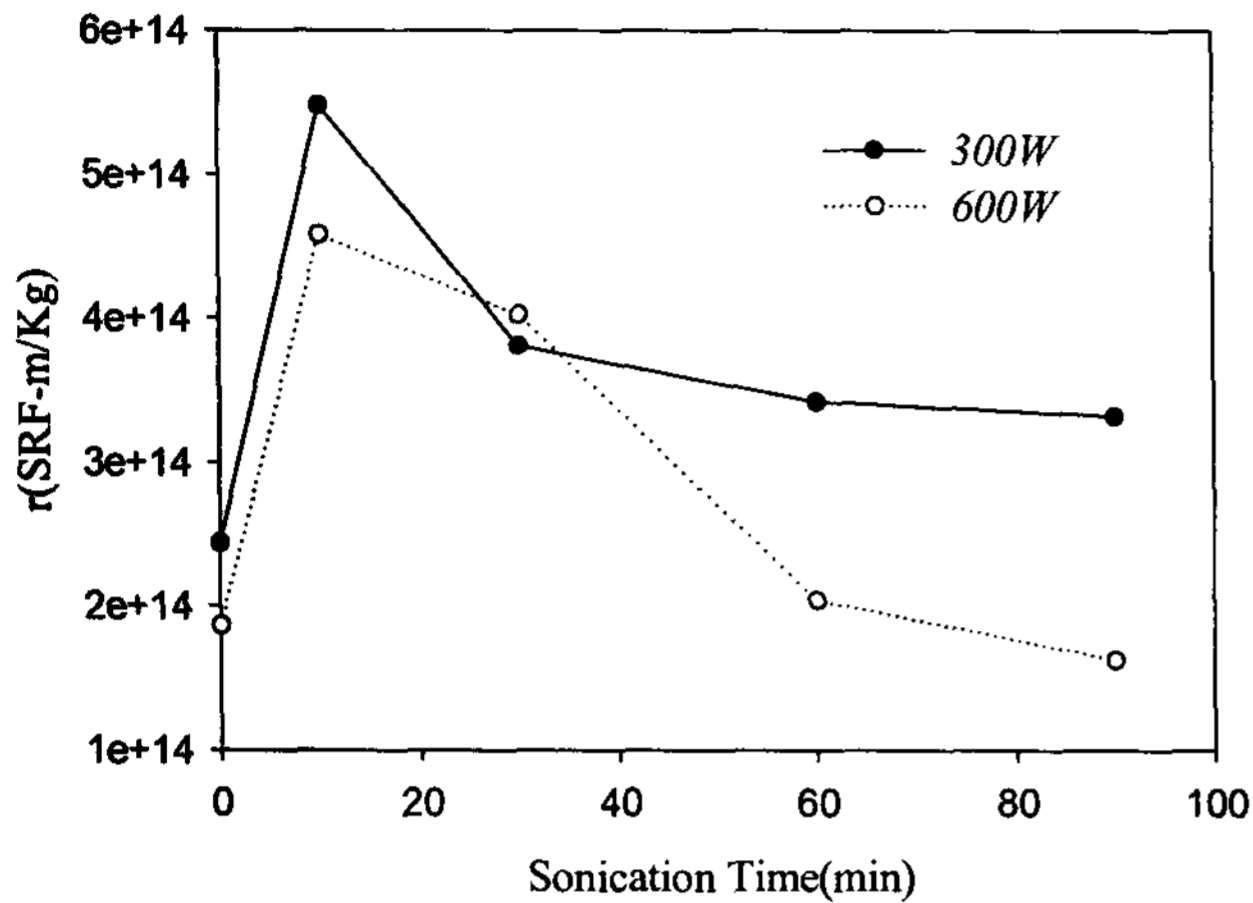


Fig. 3 CST vs time curve

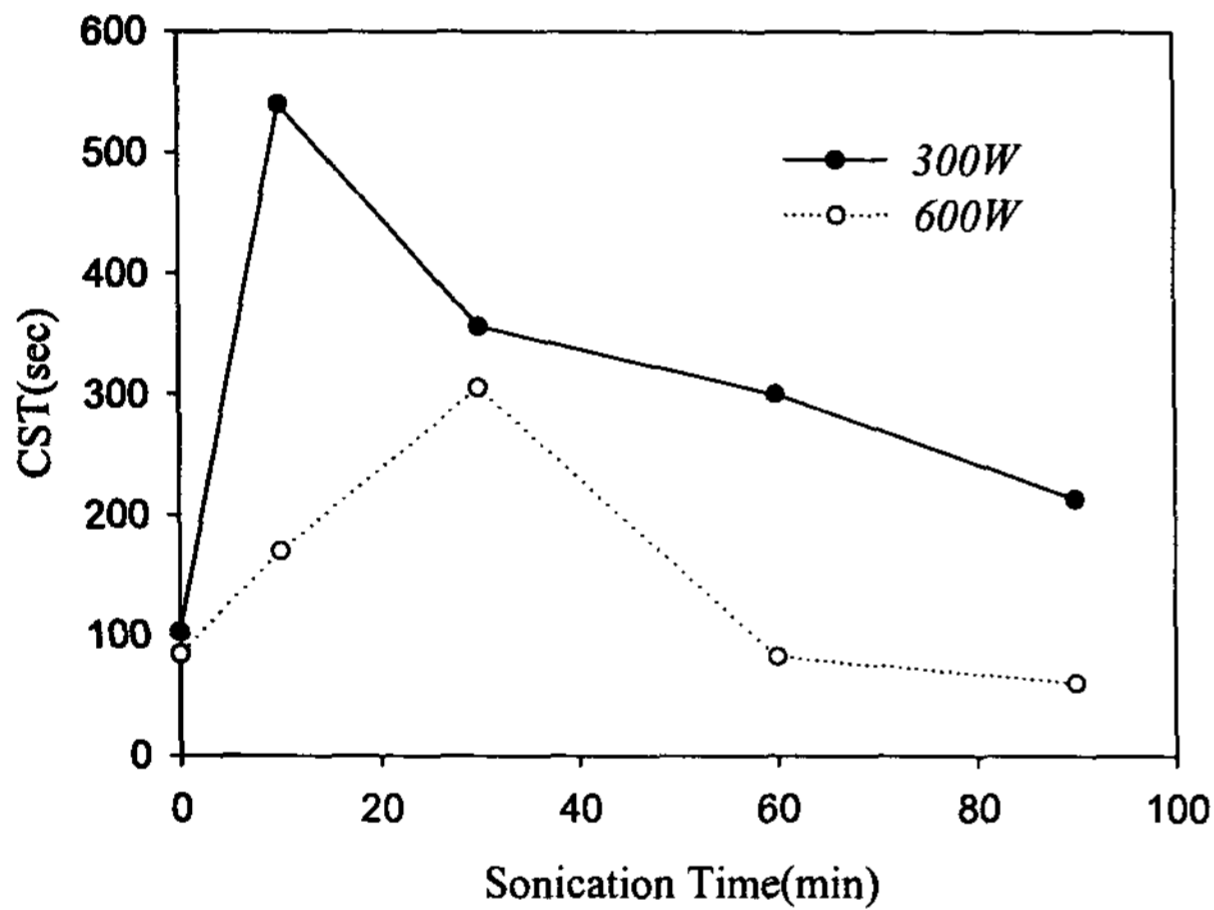


Fig. 4 SRF vs time curve

즉, 초음파 처리시 초기 10~30분(min)동안에는 큰 온도변화가 없는 상태에서 점도가 증가함으로써 CST가 증가하고, 일정시간 이후 온도가 변하고 점도가 낮아지면서 CST역시 낮아진 것으로 판단된다. 또한 파워가 높고 초음파 조사시간이 길수록, 슬러지의 에너지 흡수가 어느 이상보다 크게 되면 CST는 급격히 떨어져 최대 20~40%이상 탈수성 향상 효과를 얻을 수 있었다. 이러한 결과는 Bien^[8]의 CST시험결과에서도 확인 할 수 있다.

SRF는 Fig. 4에서 초기 CST를 80~90으로 고정시킨 G소화슬러지를 각 300ml를 취하여 초음파조사 시간, 초음파 강도별로 실시하였다. 이때 초기 CST

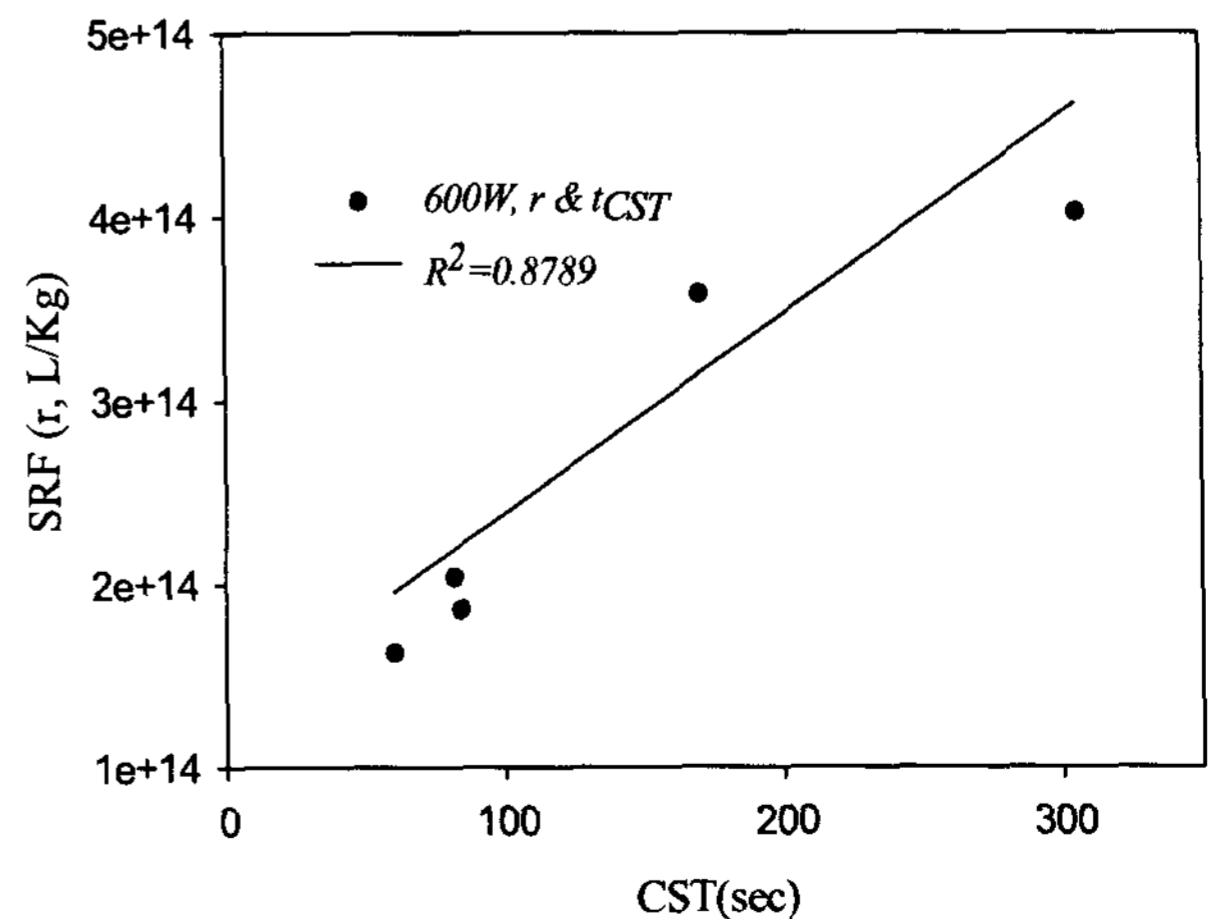
를 80~90으로 고정시켜 측정된 슬러지의 초기 SRF는 각각 $1.86 \times 10^{14}(\text{m/kg})$ 와 $2.15 \times 10^{14}(\text{m/kg})$ 이었다.

Fig. 4는 Fig. 3의 CST결과와 유사하게 초기 약 10~30분이 경과 할 때까지 SRF가 증가하는 양상을 보였는데, 이는 초기 낮은 에너지 강도에서 슬러지 입자가 파쇄되고 재배치됨으로서 공극율을 감소시킴으로서 오히려 탈수효율을 악화시키기 때문으로 판단 된다.^[1] 하지만 CST의 결과와 마찬가지로 슬러지의 에너지 흡수가 이보다 크면 SRF 역시 낮아졌으며, 이러한 현상은 권재현^[2]의 SRF의 결과에서도 확인 할 수 있었다.

4. CST & SRF 상호관계

CST(모세흡입시간)와 SRF(비저항계수)시험은 슬러지의 탈수성을 평가하기 위한 하나의 지표로써, 그 값이 낮을수록 탈수성이 양호한 슬러지라 평가할 수 있다. 동일한 슬러지를 가지고 CST와 SRF시험을 시행 한 경우, 슬러지 수분 이동특성은 Darcy's law를 기초로 하여 슬러지의 탈수 효율상태를 투과성(permeability)/저항성(resistance)으로 나타낼 수 있었다. 따라서 이러한 탈수성 평가시험(CST, SRF)은 서로 밀접한 상관관계를 갖을 것으로 판단되며, 이는 Fig. 5에서 제시한 상관관계수(R^2)로 확인할 수 있었다.

Fig. 5는 300W와 600W의 초음파강도로 10min, 30min, 60min, 90min동안 처리한 슬러지의 CST와 SRF 결과를 상관관계 R^2 로 나타낸 것으로, 300W에서는 0.9671, 600W는 0.8789로 매우 양호한 직선형태를 보였다.



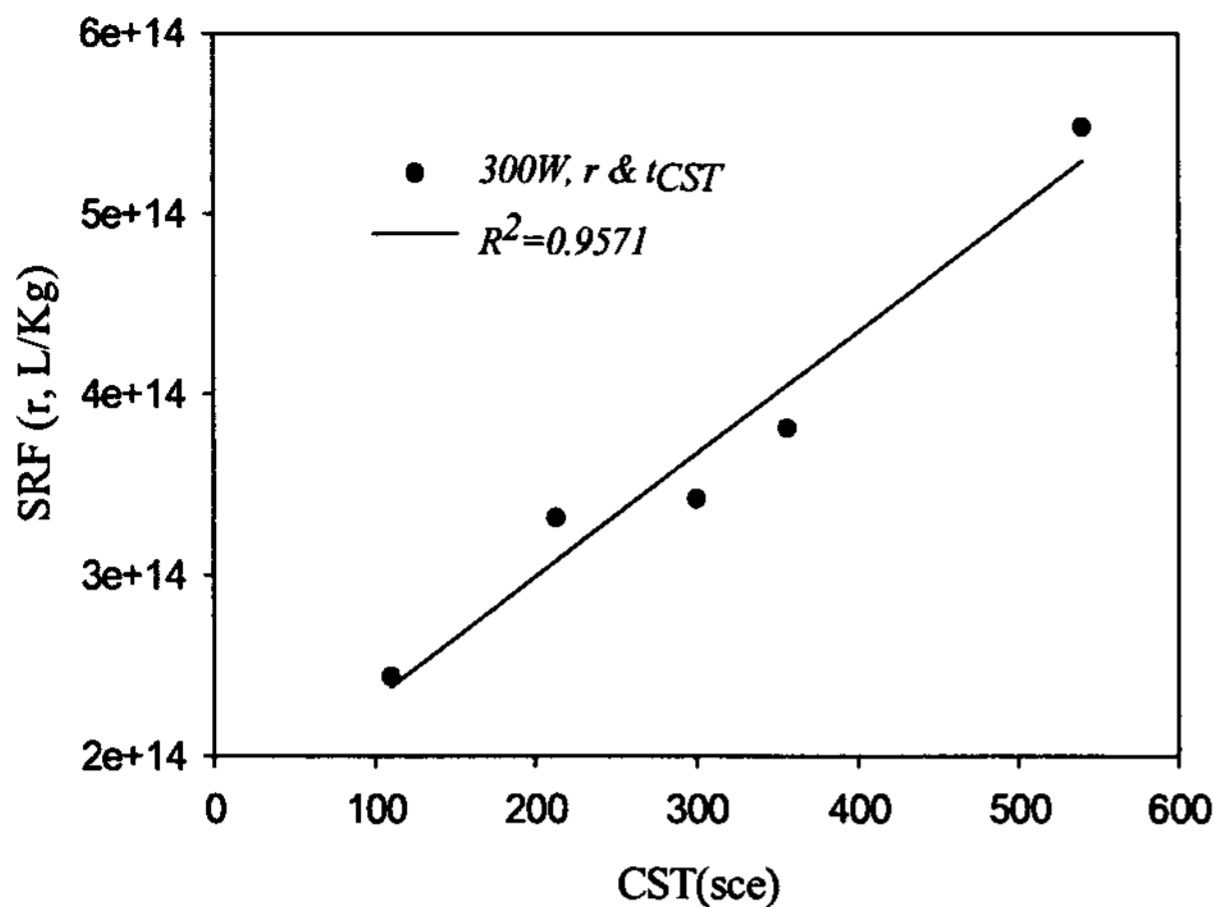


Fig. 5 Correlation of CST and SRF for digested sludge by ultrasonic treatment

이외에도 “fly ash”를 이용하여 응집처리공정의 최적조건을 연구한 Hwa., T. J.^[10]와 화학응집제처리에 따른 소화·농축슬러지의 탈수효율을 비교 연구한 임호주^[5]의 CST와 SRF의 상관관계를 통해서도 확인할 수 있었다.

이는 슬러지 개량방법에 상관없이 또는 사용한 슬러지 특성이 다를 경우에도 CST시험을 통한 탈수성 결과가 SRF까지 예측 할 수 있음을 보여준다.

참고문헌

[1] 김용학, “초음파를 이용한 슬러지의 농축과 탈수 성능 증진에 관한 연구”, 석사학위논문, 2000.
 [2] 권재현, 류성호, 박기영, 안규홍, 염익태, 이용훈, “오존처리에 의한 하수슬러지의 감량화”, *상하수도학회지*, Vol. 16, No. 2, pp. 153-160, 2002.
 [3] 문용택, 김정현, “모세관흡입시간과 여과시간에 의한 정수장 슬러지의 탈수특성 비교연구”, *상하수도학회지*, Vol. 15, No. 2 pp. 115-122, 2001.
 [4] 이정언, “하수슬러지의 탈수율 향상을 위한 열탈수 연구”, *대한환경공학회*, Vol. 26, No. 5, pp. 601-609, 2004.
 [5] 임호주, “고분자응집제를 이용한 하수처리장의 농축 및 소화슬러지의 탈수”, 석사학위논문, 2001.
 [6] 황경사, 최준창, 김영택, 배운선, 박철휘, “하수슬러지 농축 및 탈수를 위한 오존 적용가능성 연구”, *대한상하수도학회·한국물환경학회*, 추계학술발표논문집, F-5, 2004.

[7] 황선진, 정규호, 황규대, “하수슬러지의 산과 초음파처리에 따른 ECP (exocellar polymers)의 거동이 탈수성과 침강성에 미치는 영향”, *상하수도학회지*, 16권, 6호, pp. 733-740, 2002.
 [8] Bien, J. B., Kempa, E. S., and Bien, J. D., “Influence of ultrasonic field on structures and parameters of sewage sludge for dewatering process”, *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 36, No. 4, pp. 287-291, 1997a.
 [9] Chen., Y. Yang., H. and Gu., G., “Effect of acid and surfactant treatment on activated sludge dewatering and settling”, *Wat. Res.*, Vol. 35, No. 11, pp. 2615-2620, 2001.
 [10] Hwa., T. J. and Jeyaseelan., S., “Conditioning of oily sludges with municipal solid wastes incinerator fly ash”, *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 35, No. 8, pp. 231-238, 1997.
 [11] Lo, J. M., Lai, K. K., and Chen, G. H., “Salinity effect on mechanical dewatering of sludge with and without chemical conditioning”, *ES&T*, Vol. 35, No. 23, pp. 4691-4696, 2001.
 [12] Müller, J. A., “Prospects and problems of sludge pre-treatment process”, *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 44, No. 10, pp. 121-128, 2001.
 [13] Neyens, E. and Baeyens, J., “A review of thermal sludge pre-treatment processes to improve dewaterability”, *J. of Hazardous Materials.*, Vol. 98, No. 1, pp. 51-67, 2003.
 [14] Parker, P. J., Collins, A. G., and Dempsey, J. P., “Effect of freezing rate, solids content and curing time on freeze/thaw conditioning of water treatment residuals”, *ES&T*, Vol. 32, No. 3, pp. 383-387, 1998.
 [15] Vesilind, P. A., “Capillary suction time as a fundamental measure of sludge dewaterability” *JWPCF.*, Vol. 60, No. 2, pp. 215-220, (1988)
 [16] <http://www.kentec.or.kr/bbs/center4/list.asp>