

## 축산 슬러지와 혼합된 도시하수슬러지의 탈수성

# Dewaterability of the Municipal Wastewater Sludge Mixed with Livestock Sludge

조 지 민\*      최 민 석\*      한 영 규\*      김 영 관\*\*  
Jo, Ji-Min      Choi, Min-Seok      Han, Young-Gyu      Kim, Yeong-Kwan

### Abstract

In this study, a series of experiment was carried to improve dewaterability of the sludge produced in a treatment plant, located in Hongcheon, Gangwondo, which has been treating municipal wastewater and livestock wastewater. Optimum sludge mixing ratio and the amount of sludge conditioner were determined. As sludge conditioners, alum and ferric salt were selected and tested. For the measurement of sludge dewaterability, capillary suction time(CST) and the specific resistance were measured, The specific resistance was determined by running a series of Buchner Funnel Test. Mixing the two sludges at a 50:50 ratio with the addition of 20 mL alum gave the best results in terms of dewaterability. The moisture content decreased by 2% at this condition.

키워드 : 슬러지, 탈수성, CST, 비저항계수, 개량제

Keywords : *sludge, dewaterability, CST, specific resistance, conditioner*

### 1. 서론

하수슬러지를 포함한 유기성 폐기물의 직매립금지조치로 인하여 하수슬러지의 매립과 해양배출이 금지되면서 하수슬러지의 감량화를 비롯한 슬러지의 처분대책을 마련하기 위하여 국내의 각 지자체 별로 다양한 대안을 채택하고 있다. 하수처리장의 슬러지 처리대책으로 재활용, 소각, 연료화 등의 방안들이 있으나 매년 발생하는 슬러지의 양을 처리하기에는 어려움이 따르고 있는 현실이다. 예를 들어 2012년 기준 국내 하수 슬러지의 하루 발생량은 10,008톤으로 전년 대비 12% 증가하였고 2011년 자료에 의하면 슬러지의 처리 30%이상이 해양투기였다. 이와 같이 국내 많은 하수처리장은

슬러지를 폐기하기 위해서 매립을 하거나 해양으로 배출하는 것에 의존을 하고 있었던 현실이다.

현재 슬러지는 퇴비화와 소각에 의해서 주로 처리되는데, 퇴비화 같은 경우 수요처를 확보하는데 있어 어려움을 겪고 있고, 소각의 경우 슬러지의 높은 함수율로 인하여 소각비용이 높기 때문에 하수처리장 자체적으로 슬러지의 발생량을 줄이는 노력과 동시에 발생하는 슬러지의 함수율을 저감시키는 방안이 요구되고 있는 현실이다.

특히, 축산폐수를 처리하는 처리시설에서 발생하는 고농도 슬러지의 경우 탈수성이 불량하여 슬러지의 체적을 감소시키기 어려움이 있다. 따라서, 본 연구에서는 고농도로 발생하는 축산슬러지의 탈수성을 개선하기 위한 수단으로 축산슬러지와 도시하수슬러지를 혼합하고 혼합비율에 따라 혼합된 슬러지의 탈수성을 평가함으로써 도시하수슬러지와 축산슬러지의 적절한 혼합비율을 도출하고자 하였으며 혼합된 슬러지의 탈수성 개선목적으로

\* 강원대학교 환경공학과 학부생

\*\* 강원대학교 환경공학과 교수, 교신저자

슬러지개량제를 사용하여 개량제의 탈수효과를 평가하고자 하였다. 슬러지의 탈수성 평가를 위해서는 CST(Capillary Suction Time)와 슬러지의 비저항계수(specific resistance)를 측정하였고 슬러지 시료에 개량제를 첨가하여 탈수성의 개선효과를 조사하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 슬러지시료

2015년 9월 강원도 소재 A하수처리장은 도시하수와 축산폐수의 처리를 위하여 생물학적 처리공정으로 A2O 공정을 적용하고 있는데 본 연구에서는 처리시설의 2차침전지에서 발생하는 하수슬러지와 축산슬러지를 채취하여 아래의 표 1과 같이 두가지 슬러지를 다양한 비율로 혼합하여 16가지의 슬러지 시료를 준비하였다[7].

표 1 슬러지 시료

시료(100ml기준)		
하수슬러지100%	하수70%:축산30% 알렘10ml	하수50%:축산50% 알렘10ml
축산슬러지100%	하수70%:축산30% 철염10ml	하수50%:축산50% 철염10ml
하수70%:축산30%	하수70%:축산30% 알렘5ml철염5ml	하수50%:축산50% 알렘5ml철염5ml
하수50%:축산50%	하수70%:축산30% 알렘20ml	하수50%:축산50% 알렘20ml
	하수70%:축산30% 철염20ml	하수50%:축산50% 철염20ml
	하수70%:축산30% 알렘10ml철염10ml	하수50%:축산50% 알렘10ml철염10ml

### 2.2 모세관 흡입시간(CST, Capillary Suction Time)

CST는 간단하게 슬러지의 탈수성을 측정할 수 있는 실험으로 여과지의 일정한 거리를 시료의 액체가 흡수되어 여과지에서 확산되어가는 시간을 측정하는 간단한 시험방법으로 CST 장치는 그림 1과 같다. 탈수성이 불량할 경우 CST값이 크게 나타나고 탈수성이 양호한 경우 작은 값을 나타낸다[4].

Darcy의 이론을 기초로 한 CST 계산식은 식 (1)와 같다[3].

$$t = \frac{(D_2^2 - D_1^2)\pi d}{P\mu C} X \quad (1)$$

$D_1, D_2$  : 수분이 퍼져나가는 동심원의 직경(m)

$d$  : 여지의 두께(m)

$A$  : 액주의 바닥면적( $m^2$ )

$P$  : 모세관압( $N/m^2$ )

$\mu$  : 여액의 점성계수( $kg/m \cdot sec$ )

$C$  : 고형물 농도( $kg/m^2$ )

$\times$  : 실험조건에 따른 계수  
( $kg/m^2 \cdot sec^2$ )

$t$  : CST (sec)

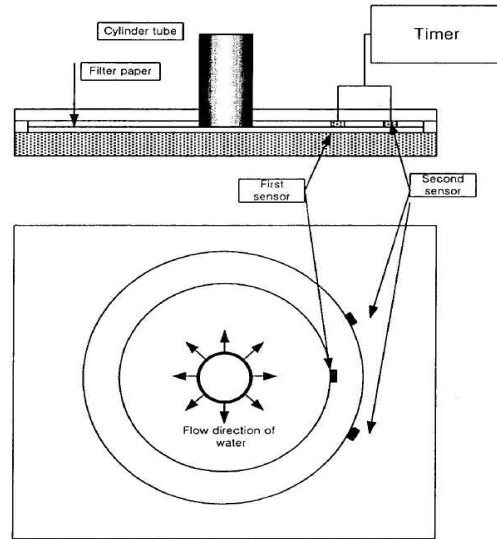


그림 1 CST 측정 기구[3]

CST 측정에 사용된 여과지는 Triton CST Paper(size: 7x9 cm)를 사용하였고 준비된 슬러지 시료를 stainless steel로 제작된 cylinder tube(sludge reservoir)에 넣고 시간을 측정하였다. 시간은 장치에 부착된 timer를 이용하여 측정하였다[1].

### 2.3 비저항계수(Specific Resistance)

일반적으로 이용되는 여과 비저항에 대한 식은 압축성 케이크 여과이론으로부터 도출된 다음과 같은 식을 이용한다[9].

$$\frac{t}{V} = \frac{\mu \cdot r \cdot w}{2A^2 P} V + \frac{\mu_f R_m}{AP} \quad (2)$$

여기에서,

t : 여과시간(sec)

V : 여액 체적(ml)

$\mu_f$  : 여액의 비저항(N·sec/m<sup>2</sup>)

r : Specific Resistance to Filtration(m/kg)

w : 단위 여액 당 축적되는 슬러지의 질량(kg/m<sup>2</sup>)

A : 여지의 면적(m<sup>2</sup>)

P : 압력 (N/m<sup>2</sup>)

$R_m$  : 여지의 저항 (1/m)

위 식에서 비저항계수는 아래 그림 2에서와 같이 직선의 기울기로써  $r = \frac{2PA^2}{\mu w}$  (m/kg) 값을 나타낸다[3].

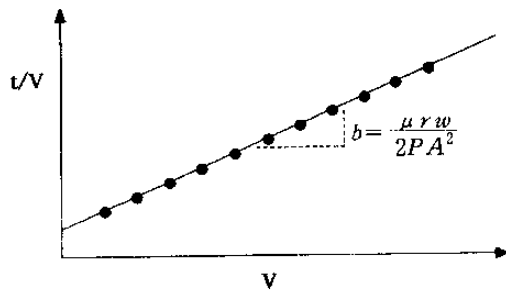


그림 2 비저항계수 산출 그래프[2]

비저항계수는 그림 3과 같은 Buchner Funnel Test 장치를 이용하여 일정한 부압(Vacuum)하에서 여과하여 시간경과에 따른 여과된 여액의 양을 활용하여 식 (2)와 같이 계산하였다. 시험에 사용된 funnel은 직경이 120mm 이었고, funnel에 사용된 여지는 Whatman No. 4 filter paper를 사용하였으며, 진공압력은 6psi 에서 실험하였다[4].

실험은 Volumetric Cylinder의 눈금이 100ml부터 시작하기 때문에 정확한 측정을 위해 증류수 100ml를 여과 시작에 앞서 cylinder에 넣었다. 증류수 100ml로 cylinder의 측정시작높이를 맞추고 슬러지 100ml를 여과시켜 실린더 높이가 약 200ml에 도달될 때까지 10초마다 여과되는 양을 계속 측정하였다.

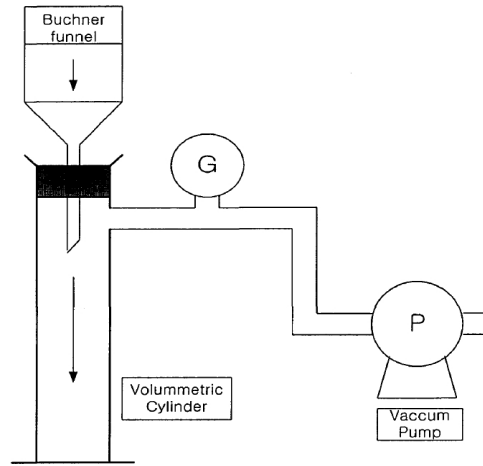


그림 3 Buchner Funnel 실험 기구[1]

## 2.4 슬러지 개량제

슬러지시료의 탈수성을 개선하기 위한 방법으로 본 연구에서는 무기성 개량제인 철염(염화 제1철, 제2철), 알루미늄염(황산알루미늄)을 사용하였으며 개량제의 첨가량을 변화시키면서 개량효과를 평가하였다[2][5][6].

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 CST 측정결과

그림 4는 슬러지개량제를 주입하지 않은 상태에서 축산슬러지와 하수슬러지의 혼합비율에 따른 CST를 보여주고 있다. 그림에서와 같이 하수슬러지와 축산슬러지의 CST는 각각 18.5초와 32.4초로 축산슬러지의 탈수성이 크게 떨어짐을 알 수 있다. 그러나 하수슬러지대 축산슬러지를 7:3 또는 5:5 비율로 혼합하였을 때, CST가 각각 21.9초와 24.3초로 감소함으로써 도시하수슬러지의 혼합으로 인하여 축산슬러지의 탈수성이 개선됨이 나타났다. 표 2는 도시하수슬러지와 축산슬러지를 혼합함과 동시에 철염 또는 alum을 일정량 첨가시 CST의 변화를 보여주고 있다.

표 2의 결과에 따르면 혼합비가 5:5 시료보다는 7:3 시료가 CST가 전반적으로 작게 측정 되었으며, 철염이나 혼합개량제보다는 alum 단독주입시, 그리고 주입량이 10ml 보다는 20ml 주입시 CST가 작게 측정되었으며 alum과 철염을 혼합하여 주입한 시료의 경우는 단일 시료를 넣은 것과 비슷한 값을 나타내었다.



그림 4 개량제를 주입하지 않은 시료의 CST

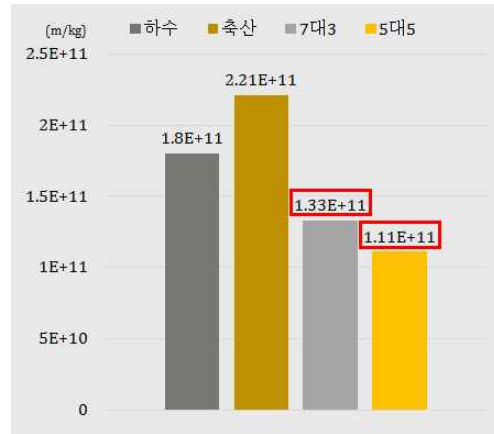


그림 5 개량제를 주입하지 않은 시료의 비저항계수

표 2 개량제 주입시료의 CST

슬러지혼합비 (하수:축산)	개량제 투입량(ml)		CST(초)
	Alum	철염	
7:3	10	-	16
	20	-	9.8
	-	10	16.3
	-	20	13.6
	5	5	19.2
	10	10	13.8
5:5	10	-	19.2
	20	-	12.6
	-	10	18.5
	-	20	14.6
	5	5	18.9
	10	10	15.6

표 3은 슬러지에 주입한 개량제의 종류별 비저항계수의 크기를 나타내고 있는데 alum과 철염의 혼합주입보다는 alum 단일투입이 효과적임을 보여 주고 있다, 그리고 개량제의 주입면에서도 20 ml 주입시 효과가 우수한 것으로 나타났다.

표 3 비저항계수(SRF) 측정결과

슬러지혼합비 (하수:축산)	개량제 투입량(ml)		SRF(m/kg)
	Alum	철염	
7:3	10	-	8.52E+10
	20	-	6.7E+10
	-	10	8.51E+10
	-	20	1.09E+11
	5	5	1.01E+11
	10	10	7.94E+10
5:5	10	-	7.75E+10
	20	-	5.83E+10
	-	10	8.47E+10
	-	20	7.9E+10
	5	5	6.9E+10
	10	10	6.1E+10

### 3.2 비저항계수 측정결과

슬러지개량제를 주입하지 않은 시료의 경우 계산된 비저항계수의 크기는 일반적인 활성슬러지 공정에서 발생하는 슬러지의 비저항계수보다는 작게 나타났다[9]. 하수슬러지대 축산슬러지의 혼합시 비저항계수가 감소되었고 비율이 5:5인 시료에서 비저항계수가 가장 많이 감소되었다(그림 5 참조).

### 3.3 CST와 비저항계수의 관계

그림 6은 실험에 사용된 16가지의 슬러지 시료에서의 SRF와 CST의 상관관계를 보여주는 그림으로 시료별 패턴이 유사한 것을 확인 할 수 있다.

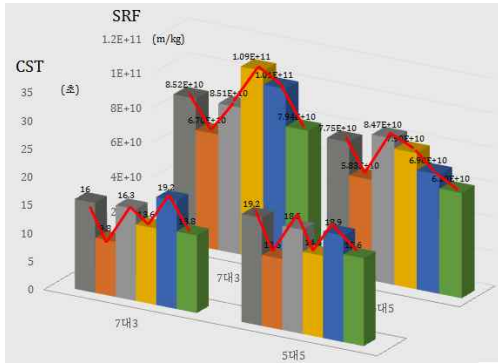


그림 6 CST와 SRF의 상관관계

### 3.4 함수율

총 16개의 슬러지 시료별 혼합비에 따른 그리고 슬러지 개량제의 첨가에 따른 함수율의 변화를 측정 한 결과는 표 4와 표 5와 같다. 각 시료별 함수율을 보았을 때 축산슬러지보다는 하수슬러지가 높은 함수율을 보였다. 그리고 개량제를 주입하지 않은 시료보다 하수슬러지와 축산슬러지를 혼합하여 개량제를 주입한 시료가 전반적으로 낮은 함수율을 보이고 있다. 표 5에서와 같이 하수슬러지:축산슬러지 혼합비 5:5, 슬러지개량제 alum을 20ml 주입시 약 2%의 함수율 감소로 가장 큰 함수율 개선을 보였다.

표 4 개량제 미주입시료 슬러지의 함수율

슬러지혼합비 (하수:축산)	함수율(%)
하수슬러지 100%	90.1
축산슬러지 100%	89.5
7:3	89.4
5:5	90

표 5 개량제 주입시료 슬러지의 함수율

슬러지혼합비 (하수:축산)	개량제 투입량(ml)		함수율(%)
	Alum	철염	
7:3	10	-	89
	20	-	88.7
	-	10	89.6
	-	20	89
	5	5	89.3
	10	10	89.1
	5:5	10	-
20		-	88.1
-		10	89
-		20	88.5
5		5	89.1
10		10	88.9

## 4. 결론

1)비저항계수 측정결과에 따르면 하수슬러지:축산슬러지 혼합비 7:3보다는 5:5가 좋은 탈수성을 보였고, alum, 철염, 혼합개량제 중에서는 alum 단일 주입시 가장 좋은 탈수성을 보였다. 또한 개량제주입량은 10ml보다는 20ml 주입시 좋은 탈수성을 보였다. 가장 좋은 탈수성을 나타낸 시료는 하수슬러지와 축산슬러지 혼합비 5:5, 개량제 alum 20ml 주입시 가장 좋은 탈수성을 보였다.

2)CST 측정결과와 SRF결과값은 유사한 관계를 보이고 있으나 혼합비에서 탈수성의 차이가 있는 원인은 SRF가 여과시간, 슬러지 수분함량, 여액량, 고형물농도 등 여러 가지 요인을 고려하는 반면, CST는 슬러지의 고형물농도에 큰 영향을 받기 때문이라고 생각된다.

3)국내 연평균 슬러지 발생량은 약 400만톤으로 슬러지 1톤당 처리비용이 약 27,000원임을 감안할 때 만약 본 연구의 결과와 같이 함수율이 2% 개선된다면 슬러지의 운반비용을 연간 2,240,000,000원 정도 절감 할 수 있을 것이다[8].

### 참 고 문 헌

- [1] 모우중, “초음파와 전기장 처리에 의한 하수 슬러지 탈수성 향상”, *인하대학교 대학원 석사학위논문*, 2012.
- [2] 현미, “슬러지의 탈수성 개선을 위한 유기고분자 주입방법 결정”, *광주대학교 대학원 석사학위논문*, 2001.
- [3] 김지형, “소화슬러지의 비저항계수(SRF)와 모세관흡입시간(CST)의 상호관계식 유도 및 비교”, *한국산학기술학회*, 2007.
- [4] 임호주, “고분자응집제를 이용한 하수처리장의 농축 및 소화 슬러지의 탈수”, *서울산업대학교 대학원 석사학위논문*, 2002.
- [5] 이재웅, “응집처리에 의한 막오염 제어에 관한 연구”, *성균관대학교 대학원 석사학위논문*, 2003.
- [6] 남선진, “황산알루미늄 주입에 의한 막오염 저감 및 인 제거에 관한 연구”, *서울대학교 대학원 석사학위논문*, 2012.
- [7] 이선중, “응집공정에서 유기물질의 제거를 위한 단일응집제와 혼합응집제의 효과 비교”, *건국대학교 대학원 석사학위논문*, 2002.
- [8] 이상협, 윤선주, 김응호, “경기도 하수처리장 슬러지 처분 및 자원화 방안에 관한 연구”, *한국건설기술연구원 연구보고서*, 1998.
- [9] Christensen L. “Units for Specific Resistance”, *J. WPCF*, vol.55, No. 4, 1983.