

CST 장치를 이용한 제지 슬러지 탈수에 관한 연구

조정원 · 조준형 · 윤미영 · 장정은

강원대학교 제지공학과

1. 서론

펄프·제지 산업에서 배수처리중 발생하는 슬러지 및 스킴의 처리는 현장에서 매우 중요한 사안이며, 그것의 재자원화가 환경 보호뿐만 아니라 에너지 자원의 유효 이용이란 관점에서 필요하다고 생각된다. 폐슬러지는 일부 재활용을 제외하고는 톤당 비용을 계산하여 처리업체에 맡기고 있기 때문에 슬러지의 중량 및 부피 감소는 제지업체의 또 다른 문제로 남아 있다.¹⁾

탈수효율을 증진시키기 위해서는 슬러지 개량이 선행되어야 하며 슬러지 개량효율이 증진되어야 탈수가 용이하게 되며 처리경비의 절감도 기대 할 수 있다.²⁾

슬러지의 탈수성은 슬러지의 pH, 입자의 전하, 결합수의 함량, 고형물의 함량, 알칼리도, 입자의 기계적 강도, 공극율, 입자의 크기, 유기물함량, 압축계수, 슬러지의 종류, 슬러지 개량제의 종류 및 량, 탈수시 운전조건 등 많은 인자에 의해 영향을 받는다.³⁾ 따라서 슬러지 개량 시에 영향을 미치는 물리·화학적인 인자의 검토가 선행되어야 한다.

실험실에서 슬러지의 탈수성을 평가하는 방법으로 SRF(Specific Resistance to Filtration)가 있다. SRF는 탈수특성을 정량적으로 나타내는 방법이지만 시간이 오래 걸리는 단점이 있다. 그래서 조작성이 간단하고 빠른 CST(Capillary Suction Time)에 의한 탈수성 측정에 대한 연구가 진행되고 있다.

따라서 본 연구에서는 제지공장에서 발생하는 슬러지의 탈수성에 영향을 미치는 인자들의 최적조건을 제시하고자 백상지, 화장지, 신문지 공장의 슬러지를 채취하여 응집제의 종류, pH, 교반시간, 온도 등의 변화에 따른 탈수성을 CST를 이용하여 측정하여 보았다. 또한 SRF의 상관관계를 알아봄으로써 CST의 탈수성 측정 방법으로서의 이용 가능성을 제시하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시 재료

공시재료로는 국내의 화장지를 제조하는 G 제지공장, 신문지를 제조하는 P 제지공장, 백상지를 제조하는 S 제지공장에서 배출되는 폐수를 사용하고, 응집제로는 Hansu-Flock CT-6/11의 Cationic polymer를 호일엔지니어링 N-302P의 Nonionic polymer를 사용하였다.

2.2 실험 방법

2.2.1 SRF(Specific Resistance to Filtration) 측정 방법

비저항(SRF, Specific Resistance to Filtration) 측정방법은 유기고분자 함량을 달리 하여 교반 시킨 후 여과지의 무게를 측정한 후 Buchner funnel을 여과장치에 부착한다. 100 ml 슬러지를 여과지에 부은 다음 중력에 의해 자연적으로 여과되는 수분이 제거될 때까지 기다린다. 진공압력 15 in·Hg로 일정압력 유지한다. 이때부터 시간을 0으로 하여 10 ml 간격으로 실린더에 여과되는 시간을 기록한다. 더 이상 수분이 나오지 않을 때, 진공펌프의 작동을 중단한다. 여과 후 여액이 부피를 측정하고, 온도를 측정한다. 여과지를 떼어내어 105 °C 오븐에 넣어 5시간 가열한 후 다시 무게를 재어 고형물의 함량을 측정한다.⁵⁾

$$\frac{t}{V} = \frac{\mu r C}{2PA^2} V + \frac{R_m \mu}{PA}$$

여기서, V = 여액의 부피(ml)

μ = 여액의 점성계수(kg/m-sec, poise)

P = 압력 손실(N/m², cmH₂O)

r = 슬러지의 평균 비저항계수(SRF, m/kg)

R_m = 여과포의 비저항계수(m/kg)

A = 여과지 면적(m²)

c = 고형물의 농도, mg/L

이 식을 간단히 하면 아래와 같이 표현한다.

$$t/V = bV + a$$

여기서, $b = \mu r C / 2PA^2$, $a = R_m \mu / PA$

이 식에서 t/V 와 V 의 직선형회귀 관계를 유지하며 b 값은 그 기울기로부터 구할 수 있다. 따라서 비저항계수 r 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$r = 2PA^2b / \mu C, \text{ m/kg}$$

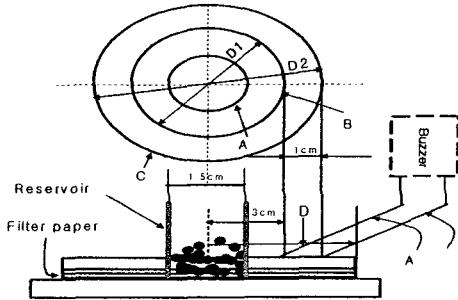


Fig. 2 Apparatus for the evaluation of CST.

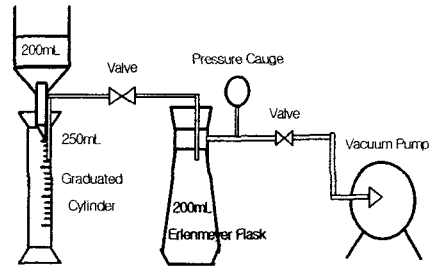


Fig. 1 Apparatus for the evaluation of SRF.

2.2.2 CST(Capillary Suction Time) 측정 방법

CST 측정법은 여지의 모세관 흡인 압력($P=15\text{kPa}$)에 의해 여액이 흡입되어, 일정면적의 여지가 여액에 의해 포화되는 시간을 측정한다. 여액이 여지 내에서 확산되는 속도는 슬러지의 여과특성과 밀접한 관계가 있으며 측정되어진 모세관흡입시간에 의해 슬러지의 여과성이 판정된다.

CST 측정장치는 그림 2에서 보는 바와 같이 내경 1.5cm의 관에 Micropipette를 사용하여 6mL의 시료를 넣고 수분이 제 1감지기(Sensor 1) 통과 시부터 제 2감지기(Sensor 2)에 도달하여 신호음이 울릴 때까지의 시간을 측정하는 것이다.

측정시료의 부피는 200mL를 사용하였고, 여과지에 일정한 압력을 가하기 위하여 윗판에 100g의 추 4개를 액주를 중심으로 내방향으로 일정한 위치에 놓았다. 시험지는 Whatman NO.17 chromatography (7 cm × 9 cm)

CST에 관한식은 다음과 같다.

$$t = \frac{(D_2^2 - D_1^2)\pi d}{AP} \cdot \frac{\mu C}{\chi}$$

여기에서,

3. 결과 및 고찰

3.1 응집제 종류에 따른 CST 변화

응집제의 종류 및 주입량에 따른 CST 변화값을 Table 1, Fig. 3 에 나타내었다. Fig. 3 과 Table 1에서 양이온계와 비이온계의 CST 수치가 많이 차이를 나타내고 있는 것을 알 수 있다. CST 값(sec)은 탈수성에 반비례하므로 Fig. 3을 통해 양이온계 고분자 응집제가 비이온계 고분자 응집제보다 개량효과가 큼을 알 수 있다

Table 1. Effect of coagulants type on dewaterability of sludge

Dosage(mg/L)	0	20	30	40	60	80	100
Polymer							
Cationic/CST(sec)	39.9	25.5	21.3	18.6	15.7	14.2	15.7
Nonionic/CST(sec)	39.9	39.2	38.1	36.5	36.2	38.5	42.4

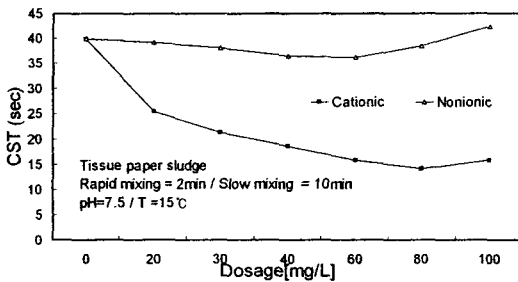


Fig. 3 Effect of coagulant type.

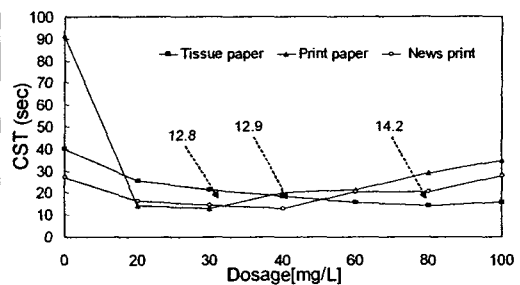


Fig. 4 Effect of coagulant dosage.

3.2 지종별 고분자 응집제 주입량에 따른 CST 변화

지종별 고분자 응집제의 최적 주입량에 따른 변화는 Fig. 4 와 같이 나타났다.

CST의 값이 가장 낮게 나타난 주입량은 백상지는 30 mg/L 주입하였을 때, 골판지의 경우는 40 mg/L를 주입하였을 때, 화장지의 경우는 고분자 응집제를 80 mg/L 주입하였을 때의 순이었다.

3.3 pH에 따른 CST 변화

pH는 알카리도와 관련이 있으며, 응집반응에 매우 큰 영향을 미친다. 응집제에는 각기 그 응집제에 대한 최적의 pH가 있는데 이것은 응집제의 응집작용이 최대이고, floc의 용해도가 최소가 되도록 pH를 조정해야 되기 때문이다.

세 지종 모두 pH 7.2에서 CST의 수치가 가장 낮은 영향을 보였으며, pH 6.2~8.2에서는 모든 지종의 CST 변화 폭이 적음을 Fig. 5에서 볼 수 있겠다.

3.4 온도에 따른 CST 변화

온도가 상온(20~30 °C)에서보다 고온으로 조절했을 때 CST값이 더 낮게 나타나는 것을 Fig.6에서 볼 수 있겠다.

이것은 온도가 올라갈수록 점도가 낮아져서 탈수에 영향을 미치는 것으로 판단할 수 있겠다.

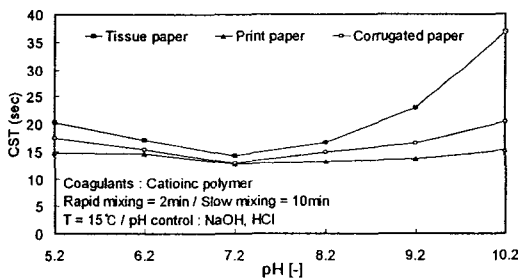


Fig. 5 Measured CST depending on pH.

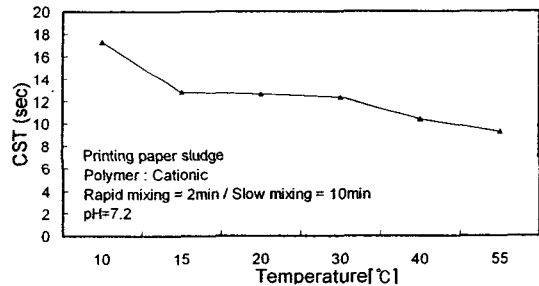


Fig. 6 Measured CST depending on Temperature.

3.5 응집제 첨가량에 따른 전하밀도

Fig. 7에서 보는 바와 같이 각 지종별 최적 응집제 투입에서 전하 밀도가 0에 가깝다는 것을 볼 수 있다.

이것은 응집제가 지종별 폐수의 슬러지와 응집이 잘 이루어져 상등액에서의 전하 밀도가 매우 적다는 것을 알 수 있다.

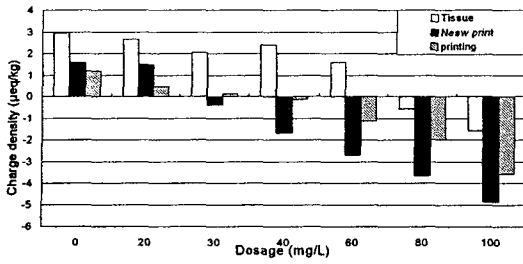


Fig. 7 Charge Density.

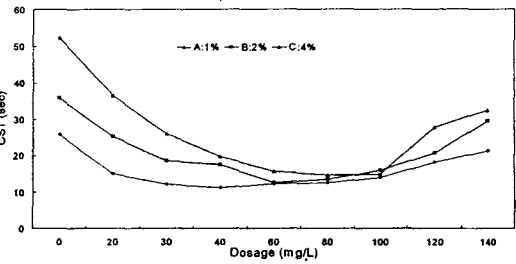


Fig. 8 Effect of sludge consistency.

3.6 고형분 농도에 의한 CST변화

Fig. 8에서 보시면 고형분 농도에 의해 CST값이 변하는 것을 알 수 있다. 처음 고형분 농도에서 응집제 첨가량이 40 mg/L 였으나 고형분 농도가 2배가 되었을 때는 응집제 첨가량이 60 mg/L 으로 첨가량이 증가하였고, 농도가 4배가 되었을 때는 응집제 첨가량이 80 mg/L으로 최적 주입량이 증가하였다.

3.7 최적 주입량에 따른 BOD₅ & COD_{mn} 제거 효율

Table 2. Removal Eff. COD_{mn} & BOD₅

Tissue	Raw material	Effluent from Coagulant	Removal Eff.(%)
COD _{mn} (ppm)	410	70	83.3
BOD ₅ (ppm)	608	115	81.1
Turbidity	140	13	90.7

화장지 슬러지 폐수의 경우는 COD_{mn}으로 초기에는 410 ppm에서 고분자 응집제 80 mg/L를 첨가하였을 때 급격히 감소하여 COD_{mn}의 제거효율이 83.3%로 매우 높았다.

BOD₅ 역시 초기에는 608 ppm에서 115ppm으로 제거효율이 81.1%의 제거 효율이 나타났다.

3.8 CST와 SRF의 상관관계

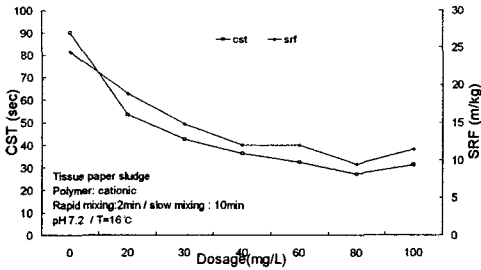


Fig. 9 CST & SRF (1).

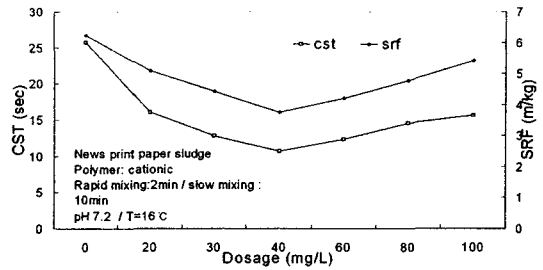


Fig. 10 CST & SRF (2).

다음 Fig. 9, Fig. 10에서와 같이 CST와 SRF의 데이터 값이 같은 추세로 나왔다. 이것은 SRF가 슬러지 탈수의 비저항값과 CST의 모세관 흡입 시간 방식이 서로 같은 형태로 나온다는 것을 의미한다.

Fig. 9는 신문지 슬러지 폐수를 pH 7.2, 온도 16℃로 응집제 80 mg/L를 첨가하여 측정하였다.

4. 결론

CST 측정장치를 이용하여 슬러지 탈수 시스템에 대한 연구 결과 및 고찰을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 양이온계 고분자 응집제가 비이온계 고분자 응집제보다 개량효과가 큼을 알 수 있었다.
- 2) 지종별 고분자 응집제의 최적 주입량은 CST 수치가 가장 낮게 나타난 백상지는 30 mg/L, 신문지의 경우는 40 mg/L, 화장지의 경우는 80 mg/L로 측정되었다.
- 3) 지종별 슬러지 모두 pH 7.2에서 CST 수치가 가장 낮은 경향을 보였으며, pH 6.2~8.2 에서는 모든 지종의 CST변화 폭이 적음을 알 수 있었다.
- 4) 온도 변화와 CST의 관계는 상온에서 보다 고온으로 올라갈수록 탈수성이 좋아짐을 알 수 있는데, 이것은 온도가 올라감에 따라 점도가 낮아지므로 이와 같은 현상이 발생한다.
- 5) 고 분자 응집제의 주입량 변화에 따른 CST와 탁도의 관계는 경향성이 일치하여

탈수성의 향상과 탈수액의 탁도는 비례적으로 변화함을 알 수 있었다.

6) SRF와 CST의 상관관계는 매우 유사한 값으로 나타났다. 이러한 높은 상관관계로 보아 CST에 의한 탈수측정은 간편하면서도 신속히 탈수성을 측정하는데 효과적임을 알 수 있었으며, SRF를 대신할 수 있음을 알 수 있다.

인용문헌

1. Kim, n. j., S서요 on the deternination of optinum conditions for the pretreatment of sludge dewatering, 1,(3):(1998).
2. Tom d. Reynolds., and Paul A. Richards., Unit operations and processes in environmental engineering, 626,(1998).
3. Black, A. P., and Hannah, S. A., Electrophoretic studies of turbidity removal by coagulation with aluminium sulfate, Jour. AWWA. Vol. 53,438(1961).
4. W.Black Jeffcoat., and J. Edward sinyley., The effect of alum concentration and chemical. Jour. AWWA. Vol 53, (1975).
5. Camp, T. R., and Stein P. C., Volicity gradients and internal work in fluid motion, J. Boston soc. of AV. Engers, 30,219,(1943).