

CST장치를 이용한 슬러지 탈수 개선에 관한 연구

조준형[†] · 조정원 · 윤미영 · 장정은
(2003년 8월 8일 접수: 2004년 1월 19일 채택)

Studies on the Drainage of Paper Sludge by Using CST

Jun-Hyung Cho[†], Jung-Won Cho, Mi-Yung Youn and Jung-Eun Jang
(Received on August 8, 2003; Accepted on January 19, 2004)

ABSTRACT

This paper suggests of utilizing both optimum coagulating and drainage conditions on mills to reduce the costs for sludge treatment of papermaking and transportation as well as leading to an effective treatment. It showed that CST method was much more effective than the time-consuming SRF since it compensated the demerits of the conventional drainage measuring method.

Keywords : *coagulant, drainage, Sludge, CST, SRF*

1. 서론

펄프·제지 산업에서 폐수 처리중 발생하는 슬러지 및 스킴의 처리는 현장에서 매우 중요한 사안이며, 이것의 재자원화가 환경 보호 뿐만 아니라 에너지 자원의 유효 이용이란 관점에서 필요하다고 생각된다. 폐수 처리중 슬러지 처리과정은 전체 폐수 처리비용의 25~50% 정도를 차지하기 때문에 슬러지의 탈수성 증가는 처리비용 감소와 직접적으로 연관되어 있으며, 슬러지의 처리과정 중 탈수 조작은 매우 중요한 과정이다.^{1,2)}

슬러지 개량의 목적은 슬러지의 물리적 특성을 변화시켜 탈수, 농축이 잘 되도록하여 슬러지의 부피와 중량을 낮춤으로써 슬러지 처리 비용을 절감하며, 고형물 처리능력을 향상시키는 것이다.³⁾ 고액분리 공정에서 슬러지의 탈수 특성을 정량적으로 나타내는 방법으로 SRF(Specific Resistance to Filtration) 방식이 일반적으로 사용되어 왔으나 실험방법이 매우 복잡하고, 또한 여과조작시 장시간의 많은 시간과 노동력이 요구되며 실험의 숙련도가 요구되는 문제점을 안고 있다.⁴⁾

• 강원대학교 산림과학대학 제지공학과(Dept. of Paper Science & Engineering, College of Forest Sciences, Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea)

† 주저자(Corresponding author):e-mail: jhcho@mail.kanwon.ac.kr

따라서 본 연구에서는 제지공장에서 발생하는 슬러지의 탈수성에 영향을 미치는 인자들의 최적조건을 제시하고자 각 지종별 폐수를 채취하여 응집제의 종류, 응집제의 주입량, pH, 온도, 전하밀도들의 변화에 따른 탈수성을 CST (Capillary Suction Time) 장치를 이용하여 탈수성을 측정하고, SRF 값과 비교 실험을 행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시 재료

본 실험에 사용된 슬러리는 백상지를 생산하는 S제지회사, 신문지를 생산하는 P제지회사, 화장지를 생산하는 G제지회사의 슬러리를 채취하여 사용하였으며, 응집제로는 H회사의 양이온성 응집제 CT-6/11과 비이온성 응집제 CT-6/10을 사용하였다.

2.2 실험 방법

2.2.1 슬러리 시료의 제조 및 방법

각 지종별 슬러리를 각 제지공장의 폐수 처리장에서 균일하게 50 L를 채취하여 5 mm 스크린망으로 이물질을 걸러내어 Jar Tester로 교반을 시키면서 2 L의 균일한 슬러리를 제조하였으며, 온도에 따른 시료의 변형을 막기 위해 냉장 4 °C로 보관을 하여 시간 변화에 따른 시료의 변질을 막기 위해 시료 채취 후 3일 이내에 실험을 행하였다. 그리고 일정한 200 mL의 시료를 각각 채취하여 실험을 행한 후 슬러리 상등액의 폐수 부하량, SRF 및 CST 실험을 실시하여 비교하였다.

2.2.2 모세관 흡인시간(CST) 측정 방법

CST측정법은 여지의 모세관 흡인 압력(P=15kPa)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 여과 탈수성이 판정된다.⁵⁾

CST측정장치는 Fig. 1 에서 보는 바와 같이 내

경 1.5 cm의 관에 micropipette를 사용하여 6 mL의 시료를 넣고 수분이 제 1감지기(Sensor 1) 통과 시부터 제 2감지기(Sensor 2)에 도달하여 신호음이 울릴 때까지의 시간을 측정하는 것이다.⁶⁾

측정시료의 부피는 200 mL를 사용하였고, 여과지에 일정한 압력을 가하기 위하여 윗 판에 100 g의 추 4개를 액주를 중심으로 네 방향으로 일정한 위치에 놓았다. 시험지는 Whatman No.17 chromatography (7 cm × 9 cm)를 사용하였다.

CST를 구하기 위한 식은 다음과 같다.

$$t = (D_2^2 - D_1^2) \pi d / AP \cdot \mu C / \chi \quad [1]$$

D₁, D₂: 수분이 퍼져나가는 동심원의 직경 (m)

d : 여지의 두께 (m)

A : 액주의 바닥면적 (m²)

P : 모세관 현상에 의한 여지의 흡입압력 (N/m²)

μ : 여액의 점성 계수 (kg/m·sec)

C : 고형물 농도 (kg/m³)

χ : 실험 조건에 따른 계수 (kg/m²·sec²)

t : CST (sec)

CST는 X에 의존하며, X는 슬러지의 탈수 특성 뿐만 아니라 여지의 공극 크기등 사용된 여지의 특성에도 영향을 받는다. 따라서 동일 장치와 동일 여지를 이용한다면 슬러지의 탈수특성을 CST측정으로 평가할 수 있다.⁷⁾

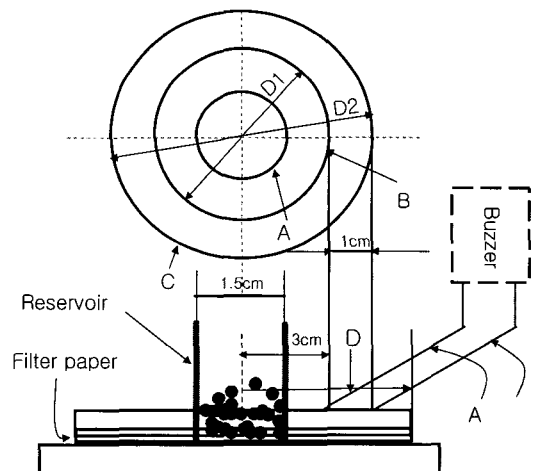


Fig. 1. Apparatus for the evaluation of CST.

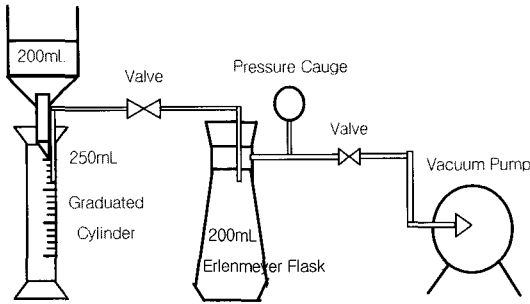


Fig. 2. Apparatus for the evaluation of SRF.

2.2.3 SRF(Specific Resistance to Filtration) 측정 방법

여과 비저항(SRF, Specific Resistance to Filtration) 장치는 Fig. 2 에 나타내었으며 측정방법은 유기고분자 함량을 달리하여 교반 시킨 후 여과지의 무게를 측정한 후 Buchner funnel을 여과 장치에 부착시키고, 100 mL 슬러지를 여과지에 부은 다음 중력에 의해 자연적으로 여과되는 수분이 제거될 때까지 기다린 후, 진공압력 15 inHg로 일정압력으로 유지시킨다. 이때부터 시간을 0으로 하여 10 mL 간격으로 실린더에 여과되는 시간 및 온도를 측정하고 더 이상 여과액이 배출되지 않을 때, 진공펌프의 작동을 중단한다. 그리고 여과지를 떼어내어 105 °C 오븐에 넣어 5시간 가열한 후 다시 무게를 재어 고형물의 함량을 측정한다.^{8,9)}

$$\frac{t}{V} = \frac{\mu r C}{2P A^2} V + \frac{Rm\mu}{PA} \quad [2]$$

여기서,

V = 여액의 부피(mL)

μ = 여액의 점성계수(kg/m^{-sec}, poise)

P = 압력 손실(N/m², cmH₂O)

γ = 슬러지의 평균 여과 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.

$$t/V = bV + a \quad [3]$$

여기서, $b = \mu \gamma C / 2PA^2$, $a = Rm\mu / PA$

이 식에서 t/V와 V의 직선회귀 관계를 유지하며 b값은 그 기울기로부터 구할 수 있다. 따라서 여과 비저항계수 γ 는 다음과 같이 구할 수 있다.¹⁰⁾

$$\gamma = 2PA^2b/\mu C \quad [4]$$

3. 결과 및 고찰

3.1 응집제 종류에 따른 CST변화

응집제의 종류 및 주입량에 따른 CST변화값을 Table 1, Fig. 3 에 나타내었다. Fig. 3 과 Table 1에서 양이온성 응집제와 비이온성 응집제에 대한 CST값이 많은 차이를 나타내고 있는 것을 알 수 있다. CST 값(sec)은 탈수성에 반비례하므로 Fig. 3 을 통해 양이온성 고분자 응집제가 비이온성 고분자 응집제보다 개량효과가 큼을 알 수 있다

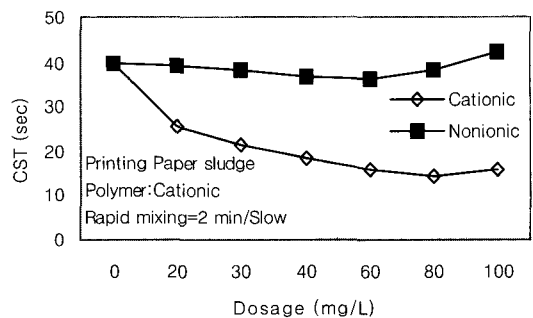


Fig. 3. Effect of coagulants types on dewaterability of sludge.

Table 1. Effect of coagulants type on dewaterability of sludge

Polymer	Dosage(mg/L)							
	0	20	30	40	60	80	100	
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	

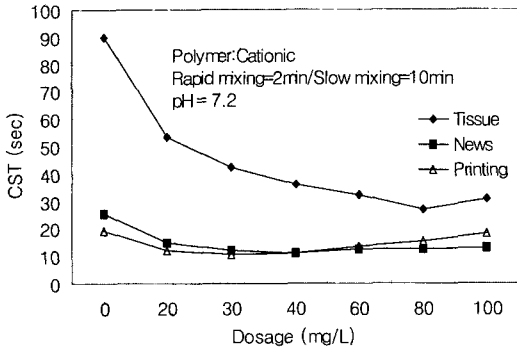


Fig. 4. Effect of conditioners on dewaterability of sludge.

3.2 지종별 고분자 응집제 주입량에 따른 CST 변화

지종별 고분자 응집제의 최적 주입량에 따른 변화는 Fig. 4 에 나타내었다.

CST의 값이 가장 낮게 나타난 주입량은 백상지는 30 mg/L, 골판지의 경우는 40 mg/L, 화장지의 경우는 고분자 응집제를 80 mg/L 주입 하였을 때이며 이때가 탈수성이 가장 우수하고 최적의 주입량이다.

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. Fig. 5 에서 알 수 있듯

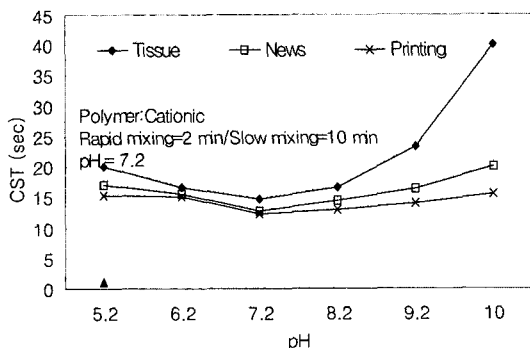


Fig. 5. Measured CST depending on pH.

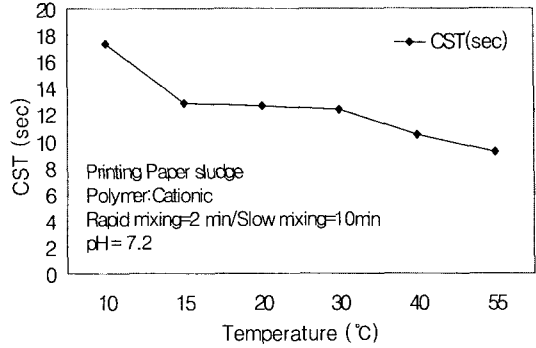


Fig. 6. Measured CST depending on temperature.

이 세 지종 모두 pH 7.2정도에서 가장 낮은 CST값을 나타내었으며, pH 6.2 ~ 8.2에서는 모든 지종의 CST 변화 폭이 적음을 알 수 있었다.

3.4 온도에 따른 CST 변화

온도 변화에 따른 CST값을 Fig. 6 에 표시하였다. 이 그림에서 알 수 있듯이 온도가 상승함에 따라 CST값이 점차 감소하였으며, 이것은 온도가 올라갈수록 슬러리 상등액의 점도가 낮아져서 탈수에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

3.5 CST와 탁도의 관계

Fig. 7 에서와 같이 응집제를 투여함에 따라 적정 응집량까지는 CST수치가 낮아지다가 응집제가 과다하게 투입되면 CST수치가 높아지는데 탁도 역시 CST와 같은 경향이 나타났다.

이것은 응집제가 과다하게 투입되었을 때 잔존

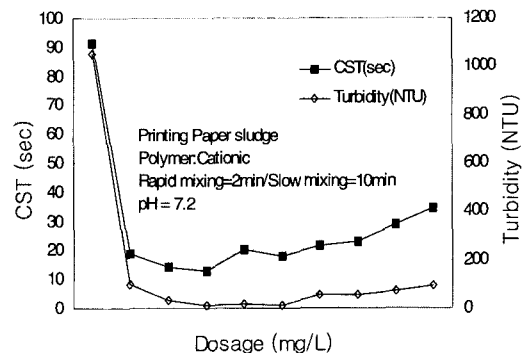


Fig. 7. Relationship between CST and turbidity.

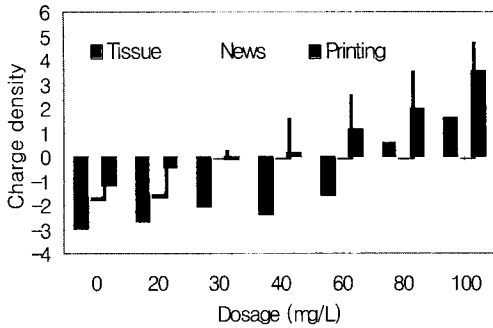


Fig. 8. Charge density by the dosage.

응집제가 슬러리에 남아서 탁도에 오히려 악영향을 미치는 것으로 사료된다.

3.6 응집제 주입량에 따른 전하밀도

Fig. 8 에 각 지종별 슬러리에 양이온성 응집제 주입량에 따른 상등액의 전하 밀도 값을 나타내었다. 각 지종별 슬러리에 적정량의 응집제 주입 이후에는 상등액의 전하가 (-)전하에서 (+)전하로 변화하였다. 이것은 슬러리 내의 고형물이 (-)전하를 띠는데 여기에 양이온성 응집제를 투입하면서 일정값 이후에는 슬러리의 전하값이 (+)전하로 변화하는 것으로 판단된다.

3.7 슬러리 농도에 따른 CST 변화

슬러리의 고형물 농도를 1, 2, 4 %로 변화를 주어 응집제의 주입량에 따른 CST값을 측정하였다. Fig. 9 에 나타내듯이 슬러리 고형물 농도가 높아짐에 따라 어느 일정 응집제 주입량에서 CST수치가 높게 나타났다. 이것은 고형물 농도가 높아짐에 따라 응집제의 적정 주입량도 높다는 것을 의미한다.

3.8 CST와 SRF의 상관 관계

백상지 슬러리에 pH, 응집제, 온도의 조건을 동

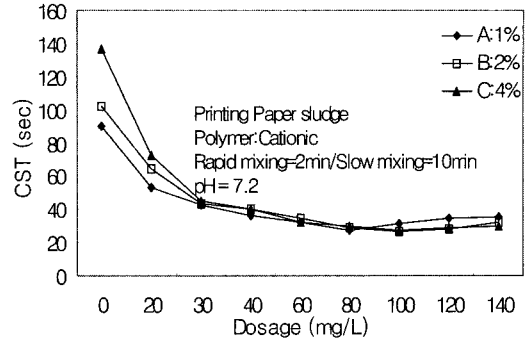


Fig. 9. Effect of sludge consistency of printed paper.

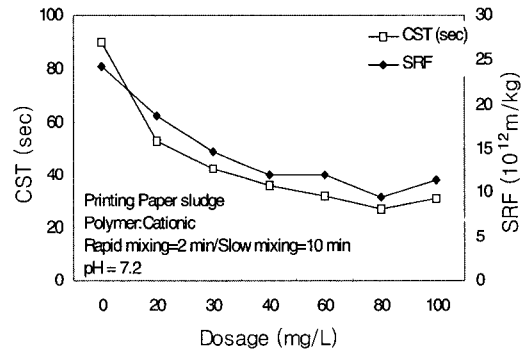


Fig. 10. CST & SRF of printing paper.

일하게 한 후, CST와 SRF를 측정 비교하였다. Fig. 10 에서 알 수 있듯이 CST값과 SRF값이 매우 유사한 상관 관계임을 알 수 있었다.

3.9 각 지종별 슬러리의 COD_{Mn} & BOD₅ 제거 효율

Table 2~4 에는 각 지종별로 최적 응집제 주입량 조건에서 COD_{Mn} 및 BOD₅, 탁도의 제거율을 나타내었다.

Table 2. Removal effect of COD_{Mn}, BOD₅ and turbidity

	Raw material	Effluent from coagulant	Removal eff.(%)
Tissue			
COD _{Mn} (ppm)	420	70	83.3
BOD ₅ (ppm)	608	115	81.1
Turbidity (NTU)	140	13	90.7

Table 3. Removal effect of COD_{Mn}, BOD5 and turbidity

News Print	Raw material	Effluent from coagulant	Removal eff.(%)
COD _{Mn} (ppm)	310	63	79.6
BOD ₅ (ppm)	420	82	80.5
Turbidity (NTU)	132	11	91.6

Table 4. Removal effect of COD_{Mn}, BOD5 and turbidity

Printing Paper	Raw material	Effluent from coagulant	Removal eff.(%)
COD _{Mn} (ppm)	250	74	66.4
BOD ₅ (ppm)	310	85	72.5
Turbidity (NTU)	88	11	87.5

4. 결론

각 지종의 제지 폐수처리에 의한 슬러리의 탈수성을 높이기 위해 최적 응집조건 및 탈수조건을 제시하기 위해 CST 값을 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 양이온성 응집제가 비이온성 응집제보다 효과적이다.

(2) 각각의 지종별 최적의 응집제 주입량은 화장지 80 mL/L, 신문지 40 mL/L, 백상지 30 mL/L로 나타났다.

(3) 전하밀도를 측정한 결과 각각의 지종별 슬러리에서 최적의 응집제 주입량 부근에서 전하밀도가 역전되는 현상이 나타났다.

(4) CST와 SRF의 관계는 매우 유사한 상관관계를 나타냄을 알 수 있었다.

본 연구 결과로 CST 측정방법이 매우 간단하고 정확하며 기존의 SRF 측정방법을 대체 할 수 있다고 사료된다.

사사

본 연구는 2003년도 산학협동재단의 지원으로 이루어졌음.

인용문헌

1. CHO, J. H., Pulp and Paper Wastewater Treatment Technology, Kangwon National University press, pp. 9~11 (2000).
2. Kim, N. J., Study on the determination of optimum conditions for the pretreatment of sludge dewatering, pp.1~3, (1998).
3. 조준형., CST 시험법에 의한 최적 응집제 첨가량의 결정에 따른 잔류 고분자 응집제의 영향, 펄프종이기술 21(4):28 (1989).
4. Lee, S. H., and Lim, T. J., and Cho, J. H., 재생지 폐수의 최적 응집조건 결정에 관한 연구, 펄프종이기술 33(3):91 (2001).
5. Tom D. Reynolds., and Paul A. Richards., Unit operations and processes in environmental engineering, pp. 626-628 (1998).
6. Baskerville, R. C., and Gale, R. S., A Simple automatic instrument for determining to filtrability of sewage sludge, J WPCF.67, p. 223 (1968).
7. Camp, T. R., Flocculation and flocculation basin, proc. A. S.C.E. Vol. 67, p. 177 (1975).
8. Tom D. Reynolds., and Paul A. Richards., Unit operations and processes in environmental engineering, pp. 626~628 (1998).
9. Letterman, R. D., Quon, J. E., and Gemmel, R. A., Influence of rapid mix parameter on flocculation, Jour. AWWA, Vol. 65, No. 11, Nov. p. 716 (1973).
10. Rafael, A. V., and Letterman, R. D., Optimizing flocculator power Input, A. M ASCE, Apr, pp. 251~261 (1976).