

## 제지폐수의 플러강도 측정에 따른 고분자응집제 주입량 결정

조준형\* · 강미란

강원대학교 산림환경과학대학 제지공학과

### Determination of Dosage of Flocculants for Paper Wastewater Treatment by Measuring Floc Strength

Jun-Hyung Cho\* and Mee-Ran Kang

Department of Paper Science and Engineering, College of Forest and Environmental Science,  
Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

**ABSTRACT** : Actually, about 45% of total costs for wastewater treatment in a papermaking mill is spent for sludge disposal and the cost of chemicals used to improve the dewaterability of sludge takes much part of it. In order to reduce sludge disposal cost and to improve the efficiency of sludge treatment, it is necessary to minimize the amount of water contained within the sludge and hence to improve the dewaterability of the sludge. The objective of this study was to elucidate the way of improving the dewaterability of sludge. Three types of wastewater from a tissue paper mill, a printing paper mill and a newsprint mill were used and two types of high molecular weight flocculants (anionic PAM and cationic PAM) were used to treat the wastewater. Dewaterability of sludge was evaluated by measuring floc strength.

**Keywords** : Wastewater, Sludge, Dewaterability, Flocculants, Floc strength

#### 서 론

폐수처리장에서 발생하는 슬러지들은 다양한 탈수특성을 보이고 있다. 탈수능력을 향상시키기 위한 개량의 목적은 고형물 입자의 비표면적을 감소시키고, 크기를 증대시켜 농축이나 탈수효율을 높이고 있다(Werle, 1984). 입도분포는 탈수능력에 영향을 미치는 인자 중 하나이며, 특히 슬러지에서의 미세입자들은 탈수능력을 저하시킨다(조준형 등, 1998). 진공여과, 원심분리, belt press 및 filter press 등이 탈수를 위해 이용될 때, 미세입자들은 입자경이 작기 때문에 매우 천천히 농축되며, 비표면적이 크므로 수분이 많이 흡착되어 탈수성이 떨어진다. 따라서 화학약품의 주입으로 입자의 크기는 최대한 크게 하면서 입자의 탈수성 역시 향상시킬 수 있는 기술이 필요하다. 적정량의 약품의 사용은 발생하는 플러의 여과성, 침전성, 강도 등의 특성 향상을 기

대할 수 있다(박이순 등, 1996). 처리 시 다량의 수분을 함유하고 있는 고형분의 여과속도를 최대로 한다면, 여과 시 필요한 에너지를 절감하고 폐수처리의 효율을 증대시킬 수 있다(조준형, 2007). 이러한 고형분의 여과성에 영향을 미치는 요인 중에 하나가 바로 화학적 처리단계에서 사용한 고분자 응집제의 양이며(Bratby, 1981), 따라서 고형분의 여과성을 관찰하여 최종적으로는 고분자 응집제의 적정 사용량을 얻는 것이 매우 필요하다(김윤영 등, 2002).

이에 본 논문은 백상지, 화장지, 신문용지를 생산하는 공장의 원폐수에 대해 두 종류의 고분자 응집제(음이온성 PAM (polyacrylamide), 양이온성 PAM)를 단독으로 주입하였을 때(single system)와 혼합하여 주입할 때(dual system), 폐수 내의 고형분의 탈수성을 알아보고자 실험실적으로 플러의 강도를 측정하였다. 또한 COD(chemical oxygen demand) 및 SS(suspended solid) 제거 효율을 측정하여, 처리효율 역시 알아보았다.

\* Corresponding author: (E-mail) jhcho@kangwon.ac.kr

※ 이 논문은 2007년도 산림과학연구소의 지원에 의해 수행되었음.

## 재료 및 방법

### 공시재료

본 실험은 화장지, 신문용지, 백상지 공장의 원폐수를 사용하였으며, 원폐수의 성상은 Table 1과 같다. 고분자응집제로는 양이온성PAM과 음이온성PAM을 사용하였으며 각 고분자응집제의 특성은 Table 2와 같다. 또한 실험에 사용한 장치는 Table 3에 나타내었다.

### 실험방법

#### 플러깁강도 측정방법

기존의 입자크기를 기초로 한 플러깁강도 평가연구는 플러깁에 가해지는 전단력에 의하여 점차 파괴되는 입자의 크기변화를 고찰하는 것으로 플러깁의 기계적 강도를 평가하는 것이 가장 일반적이었다(장호진, 1997). 일정한 전단력하에 플러깁의 파괴과정은 ① 유체 전단력에 의한 순간적인 파괴, ② 플러깁과 플러깁 사이의 충돌에 의한 동력학적인 파괴 등으로 구분할 수 있다(Sonntag, 1986). 본 연구에서는 기존이론을

**Table 1.** Characteristics of wastewater

Item	Apparatus
Mixing	Jar-tester
COD	KMnO <sub>4</sub>
pH	pH meter
Turbidity	Spectrophotometer

**Table 2.** Characteristics of PAM

Type	Molecular weight (Mw)	Charge density (meq/g)	Molecular structure
Anionic PAM	1×10 <sup>6</sup> ~2×10 <sup>6</sup>	-1~1.3	Linear
Cationic PAM	7×10 <sup>5</sup> ~9×10 <sup>5</sup>	2~2.5	Linear

**Table 3.** Analytical apparatus

Item	Tissue	Printing	Newsprint
pH	7.17	7.87	7.27
COD(ppm)	420	432	630
SS(ppm)	2350	1500	1750
Turbidity(NTU)	140	230	145

바탕으로 다음과 같은 측정 방법으로 플러깁의 강도를 측정하였다. 현탁액을 응집처리 한 다음 탁도를 측정하고, 형성된 플러깁을 500rpm에서 30초간 파괴하고 30분간 응집체를 침전시킨 후 상등액의 탁도를 다시 한번 측정하여, 파괴 전과 파괴 후의 탁도 값을 비교하였으며 이로써 파괴 전과 파괴 후의 차이가 크면 플러깁의 강도가 불량하고 차이가 적으면, 플러깁의 강도가 양호한 것으로 판정 가능하다(윤태일 등, 2001).

## 실험결과

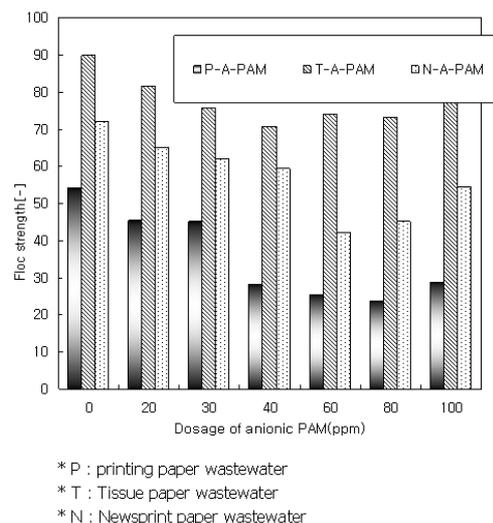
### 고분자응집제 단독주입(single system)과 플러깁 강도

#### 1) 음이온성 PAM의 단독 주입과 플러깁 강도

Figure 1에 음이온성 PAM 단독 주입에 따른 플러깁의 강도를 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 플러깁의 강도는 백상지, 신문용지, 화장지 순으로 양호한 값을 나타내었으며, 고분자응집제의 주입량이 증가함에 따라 플러깁의 강도는 향상되었다. 따라서 고분자 응집제의 주입량의 증가와 함께 슬러지의 탈수성 역시 향상되는 것으로 사료된다.

#### 2) 양이온성 PAM의 단독 주입과 플러깁 강도

Figure 2에는 양이온성 PAM을 단독으로 주입한 후 각 폐수의 플러깁 강도를 측정하였다. 음이온성 PAM 단독 주입의 실험결과와 유사한 결과를 나타내었으며, 음이온성 PAM을 단독으로 주입한 경우 보다 대체적으로 더 양호한 플러깁의 강도를 나타내어, 이는 고분자 응집제를 단독으로 주입



**Fig. 1.** Floc strength in single system (anionic PAM).

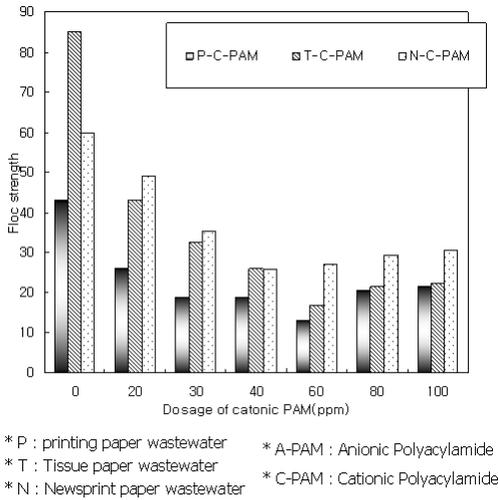


Fig. 2. Floc strength in single system (cationic PAM).

할 경우에는 음이온성 PAM보다 양이온성 PAM이 슬러지 탈수 특성 향상에 더 효과적이라고 사료된다.

고분자 응집제 단독 주입에 따른 COD 및 SS 제거 효율

세 종류의 폐수에 두 종류의 고분자 응집제를 단독으로 투입했을 때, 각각의 COD 및 SS 제거효율의 평균값을 Figure 3과 4에 나타내었다. 세 종류의 폐수 모두 평균 COD 제거 효율이 음이온성 PAM은 약 50%에 그쳤으며, 양이온성 PAM은 약 70%에 그쳤다. 또한 SS 제거효율의 경우 음이온성 PAM은 약60%, 양이온성 PAM은 약 80%를 나타내었다. 따라서 두 종류의 고분자 응집제(음이온성, 양이온성 응집제)의 적정량 혼합 사용이 필요하다고 사료된다.

고분자 응집제 혼합 사용에 따른 플러깅 강도

두 종류의 고분자 응집제를 혼합하여 투입할 경우 플러깅의 강도를 나타내었다(Figure 5.).

백상지 폐수, 화장지 폐수, 신문용지 폐수 모두 첨가량이 10%~15% 부근에서, 가장 양호한 플러깅 강도를 나타내었으며, 신문용지 폐수의 플러깅 강도가 가장 양호하고, 그 다음 백상지, 신문용지 순이었다.

고분자 응집제 혼합 투입에 따른 COD 및 SS 제거효율

세 종류의 폐수에 두 종류의 고분자 응집제를 혼합처리를 하고 시료의 COD 및 SS 제거효율을 비교하였다.

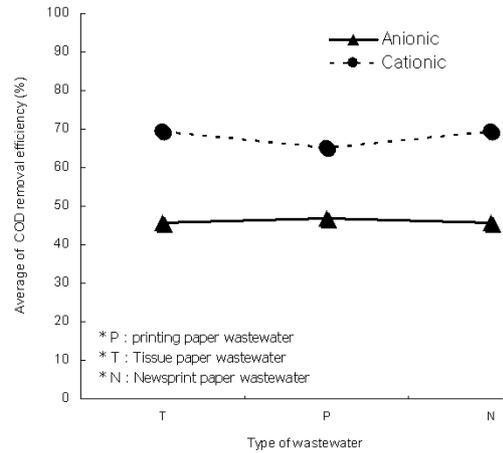


Fig. 3. Average of COD removal efficiency in single system.

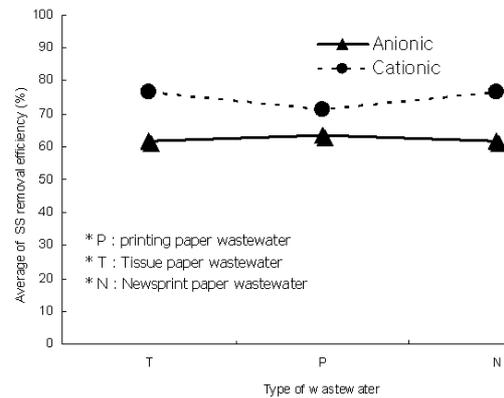


Fig. 4. Average of SS removal efficiency in single system.

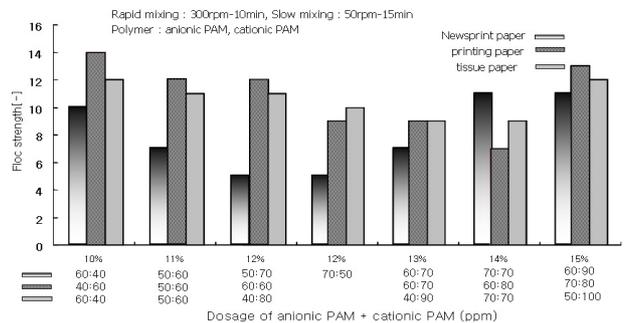
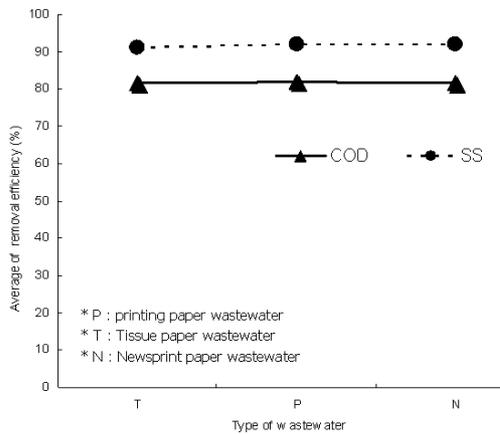


Fig. 5. Floc strength of three type paper wastewater in dual system.

고분자 응집제를 단독으로 처리하였을 경우에는 앞에서 보았듯이 COD 제거효율이 약 65%에 그쳤지만, 두 고분자 응집제를 혼합하여 처리하였을 경우에는 COD 제거효율이 약 85%까지 상승한 것을 볼 수가 있었다(Figure 6.). 또한 SS 제거효율은 단독투입 시 보다 약 10% 상승하였다. 이로써 고분자 응집제를 각각 단독으로 처리하기 보다는 적정량



**Fig. 6.** Average of COD and SS removal efficiency in dual system.

혼합하여 사용하는 것이 폐수의 처리에 더 효과적이라는 것을 알 수 있다.

### 결 론

본 연구에서는 지종별 폐수(화장지, 백상지, 신문용지 공장 폐수)의 최종 슬러지 처리를 위한 목적으로 고분자 응집제의 투입하여, 슬러지 탈수특성을 증가시키는 방안으로써 플럭의 강도를 측정하였으며, 최종적으로 다음과 같은 결론을 이끌어 낼 수가 있었다.

1. 고분자 응집제를 단독으로 주입한 후 각 폐수의 플럭 강도를 측정한 결과 백상지, 신문용지, 화장지 폐수 순으로 플럭의 강도가 양호하였으며, 고분자 응집제의 주입량의 증가할수록 강도 역시 향상되는 것을 알 수 있었다. 다만 음이온성 PAM을 단독으로 주입한 경우 보다 대체적으로 더 양호한 플럭의 강도를 나타내어, 이는 고분자 응집제를 단독으로 주입할 경우에는 음이온성 PAM보다 양이온성 PAM이 슬러지 탈수 특성 향상에 더 효과적이라고 판단된다.
2. 고분자 응집제 단독으로 투입 했을 때, 각각의 COD 제

거 효율이 음이온성 PAM은 약 50%에 그쳤으며, 양이온성 PAM은 약 70%에 그쳤다. 또한 SS 제거효율의 경우 음이온성 PAM은 약60%, 양이온성 PAM은 약 80%를 나타내었다. 따라서 두 종류의 고분자 응집제의 적정량 혼합 사용이 필요하다고 사료된다.

3. 두 종류의 고분자 응집제를 혼합하여 투입할 경우 백상지 폐수, 화장지 폐수, 신문용지 폐수 모두 첨가량이 10%~15% 부근에서, 가장 양호한 플럭 강도를 나타내었으며, 신문용지 폐수의 플럭 강도가 가장 양호하고, 그 다음 백상지, 신문용지 순이었다.
4. 마지막으로 고분자 응집제의 혼합 주입 시 단독으로 처리하였을 경우 보다 약 10% 상승하였다. 이로써 고분자 응집제를 각각 단독으로 처리하기보다는 적정량 혼합하여 사용하는 것이 경제적 및 기술적 제지폐수 처리에 보다 효과적이라고 사료된다.

### 인 용 문 헌

김윤영, 이석훈, 주득중, 김영훈, 최상준. 2002. Polyamine계 고분자 응집제의 상수처리 특성. 대한환경공학회 춘계학술대회논문집 pp. 273-274.

박이순, 이석훈, 최상준, 신명철, 신준호. 1996. 고분자 응집제를 이용한 상수처리. 대한환경공학회 추계학술연구발표회논문집 pp. 198-201.

윤태일, 서형준, 송재용. 2001. 화학적 플럭의 기계적 강도의 평가에 관한 연구. 대한환경공학회지, 12(2): 2001-2010.

장호진, 탁도변동에 의한 플럭의 구조적 특성. 1997. 수처리기술, 5(2): 37-47.

조준형, 정원구, 김준환. 1998. 제지폐수의 응집특성에 관한 연구. 산림과학연구 14: 101-111.

조준형. 2007. 펄프·제지 폐수처리. 강원대학교 출판사 pp. 18-19.

Bratby, J. R. 1981. Optimizing Coagulants and flocculant Aids for Settling. J. AWWA 6, 312pp.

Sonntag, R. C., W. B. Russel. 1986. Structure and breakup of flocs subjected to fluid stresses. J. of colloid and Interface science. 113(2): 339-340.

Werle, C. P., Novak J. T., Knocke, W. R., and J. H. Sherrard. 1984. Mixing intensity and polymer sludge conditioning. J. Env. Eng. Div. ASCE, 110: 919-934.