

재생지 폐수의 최적 응집조건 결정에 관한 연구

이 성 호[†] · 임 택 준 · 조 준 형

(2001년 5월 20일 접수; 2001년 8월 20일 채택)

Studies on the Determination of Optimal Flocculation Condition in Wastewater of Recycled Paper

Sung-Ho Lee[†], Taek-Jun Lim, and Jun-Hyung Cho

(Received on May 20, 2001; Accepted on August 20, 2001)

ABSTRACT

Sedimentation characteristics such as SS, BOD₅, COD removal efficiency of waste water in the toilet paper mill using milk carton were examined. Optimum dosage of coagulant, rapid mixing time and slow mixing time were determined by turbidity, SS, COD, BOD₅ and then equation for treatment efficiency was suggested. Mechanical strength of floc was determined by turbidity.

For the coagulant, polyacrylamide (PAM) is more efficient for removing pollution than the aluminium sulfate. Effective mixing ratios of PAM and aluminum sulfate to remove pollution are 70:30 and 30:70. The lowest turbidity was showed when rapid mixing at 300 rpm after coagulant injection was applied. That which indicates the highest point of floc's mechanical strength.

Keywords: Turbidity, Mechanical strength, Flocculation, Coagulant, PAM

1. 서론

폐지를 사용하여 재생용 종이를 생산하는 공장폐수는 대부분 50~60 mesh 이하의 부유물질로 구성되어 있으므로 쉽사리 침전하지 않아 단순한 침전으로는 처리가 힘들며 부유물질의 부하량이 매우 큰 특징을 지니고 있다.¹⁾ 이와 같은 제지폐수를 효과적으로 처리하기 위해서는 우선 침전특성을 파악하는 것이 중요하다.^{2,3)}

응집(Coagulation)은 콜로이드의 안정성을 파괴하

여 작은 floc을 생성시켜 주는 급속교반과 응집의 다음 단계인 여과와 침전을 쉽게 하기 위하여 큰 floc을 생성시켜 주는 완속교반의 두 단계로 구분할 수 있다.⁴⁾ 급속교반에 의해 생성된 초기의 미세한 floc의 특성이 최종 floc의 특징이나 처리효율에 중요한 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.⁵⁾ 따라서 처리효율을 증가시키기 위해 급속교반의 시간과 강도를 결정하는 것이 매우 중요하다.⁶⁾ 또한 응집제의 적절한 선별과 사용은 floc 형성이나, 처리효율에 중요한 영향을 미친다.⁷⁾ 응집제는 무기응집제와 고분자응집제를 사용

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

[†] 주저자(Corresponding author): e-mail: junc26@hanmail.net

하고 있으며 flocc의 여과성, 침전성, 강도 등의 특성을 좋게 하고, 침전지의 크기를 줄이는 등 경제성을 고려하여 응집제를 동시에 함께 사용하기도 한다.⁸⁾

본 연구에서는 재생지 폐수의 침전특성을 파악하고, Jar-Tester를 이용하여 급속교반시간, 완속교반시간, 응집제 첨가량에 따른 Turbidity, SS, BOD, COD(화학적 산소요구량, Chemical Oxygen Demand)를 측정하여 최적응집제 주입량을 검토하였다.¹⁰⁾ 또한 교반 전과 후, 교반속도 및 응집제의 종류에 따른 플록의 기계적 강도를 측정해 봄으로써 기계적 강도가 양호하면서 응집효과가 좋은 최적 조건을 검토하였다.⁹⁾

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

본 연구에서는 우유팩을 원료로 하여 화장지를 생산하는 제지공장의 원폐수를 사용하였으며, 응집제로는 Al_2SO_4 와 PAM(Polyacrylamide) 2종이며, 원폐수의 성상은 Table 1과 같다.

Table 1. Characteristics in untreated wastewater

Item	Untreated wastewater
pH	6~7
BOD ₅ (mg/L)	397.4
COD (mg/L)	550.8
SS (mg/L)	2,000
Turbidity (NTU)	940

Table 2. Analytical apparatus

pH	HANNA pH/mH meter. Model 15189N
Suspended Solids	GF/C filter, Suction flask, Dry oven
Turbidity	Turbidity Instrument(monITEK MODEL 21PE)
Chemical Oxygen Demand	TOA COD-50S Digital COD meter
Biochemical Oxygen Demand	ORION DO meter Model 862, Incubator
Mechanical Strength	LAB stirrer, Turbidity Instrument

2.2 실험방법

제지폐수의 침전특성과 침전시간별 SS 제거효율, BOD₅ 제거효율을 알아보기 위하여 침전관을 사용하였다. 그리고 회분식 실험을 위해서 Jar-tester를 이용하였으며, 원폐수 500 ml를 1ℓ Beaker에 취하여 급속교반, 완속교반, 자연침강을 시킨 후 시료를 채취하여 분석하였다. 본 연구에 이용된 실험장치는 높이 200 cm, 직경 15 cm의 투명한 원통형 아크릴관이며, 상부에서 50 cm간격으로 분석용 시료채취구를 설치하여 5분, 10분, 15분, 20분, 30분 간격으로 시료를 채취하여 분석하였으며, 분석방법은 수질공정 시험법에 준하여 분석하였다.¹¹⁾ 플록의 상대적인 강도를 측정하기 위하여 표준전단력 교반기를 이용하여 500 rpm에서 30초 간 플록을 파괴한 후 30분 간 침전시

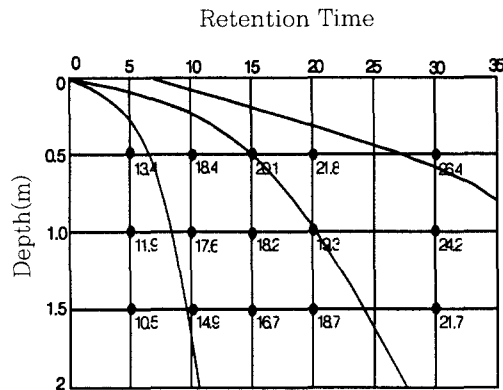


Fig. 1. SS removal efficiency with retention time.

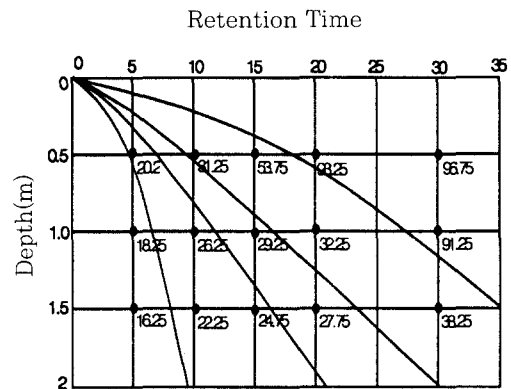


Fig. 2. BOD₅ removal efficiency with retention time.

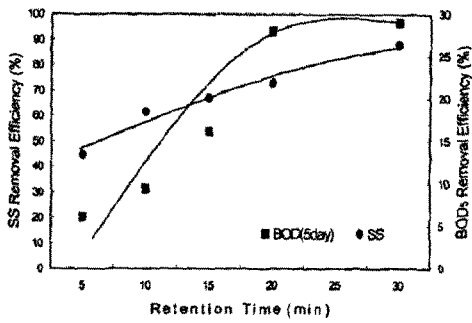


Fig. 3. SS, BOD₅ removal efficiency with retention time.

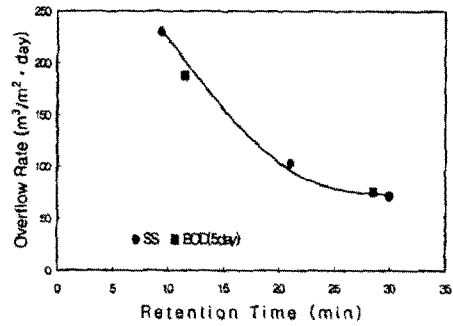


Fig. 4. Overflow rate with retention time.

켜 그 상등액의 잔류탁도를 측정하여 잔류탁도의 변화로 플러의 기계적 강도를 비교하는데 이용하였다. 측정장치의 개요는 Table 2에 제시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 중력침전

3.1.1 침전시간별 침전특성

원폐수를 침전시킨 후 침전시간에 대한 각 깊이에서의 상등액의 SS 및 BOD₅의 제거율을 도식화하여 침전시간에 따른 제거효율과 표면부하율을 구하기 위한 기초자료로 SS의 침전농도 곡선과, BOD₅의 침전농도 곡선을 Figs. 1, 2에 나타내었다.

그래프상의 각 수치는 체류시간과 침전관 높이에서의 SS 및 BOD₅의 제거율을 나타내며, 아래의 그림에서와 같이 제거곡선상의 임의의 점에서의 기울기는 그 곡선에 나타난 입자분율의 순간 속도에 해당한다. 이러한 응집현탁물의 일반적인 특성은 입자 크기의 증가에 영향을 주며, 다른 입자들과의 연속적인 충돌과 결합으로 인한 침강속도의 증가에도 영향을 미친다.

3.1.2 SS 및 BOD₅ 제거율

Fig. 3에서 알 수 있듯이 체류시간에 대한 SS의 총 제거율은 체류시간이 길어짐에 따라 증가하는 것으로 나타났으며, 체류시간 30분에서 SS 제거율은 96.75%로 나타났고, BOD₅의 제거율은 26.4%로 나타났다. 체류시간과 표면부하율과의 관계는 Fig. 4에 제시된 바와 같이 체류시간이 증가함에 따라 표면부하율은 감소하는 경향을 보여 주었다.

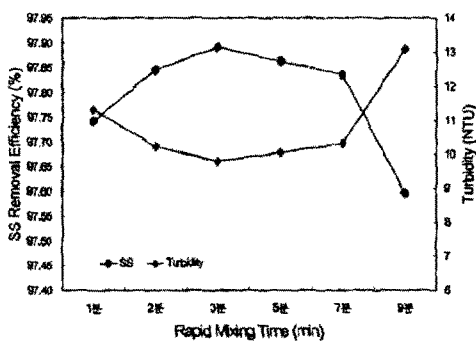


Fig. 5. SS removal efficiency and turbidity with rapid mixing time.

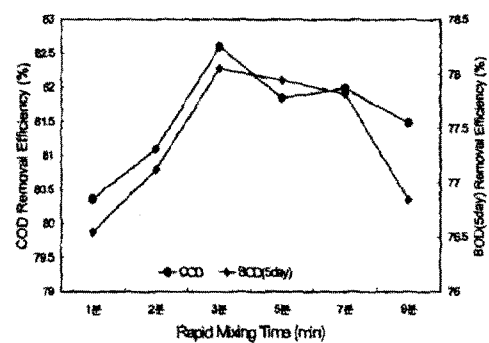


Fig. 6. BOD₅, COD removal efficiency with rapid mixing time.

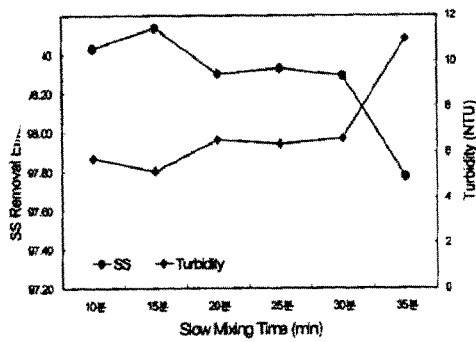


Fig. 7. SS removal efficiency and turbidity with slow mixing time.

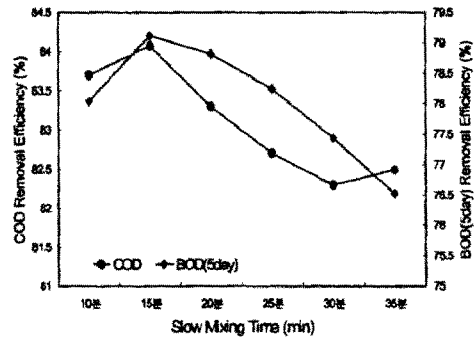


Fig. 8. BOD₅, COD removal efficiency with slow mixing time.

3.2 약품침전실험

3.2.1 교반시간에 따른 탁도, SS, BOD₅, COD의 제거효율

원폐수의 pH를 6.5로 조정하여 시료 1 l 에 PAM 을 80 mg/l 첨가한 후 시간을 1분~9분으로 급속교반(300 rpm)시키거나, 10분~40분 간 완속교반(50 rpm)한 후, 30분간 침전시켜 탁도, SS, BOD₅, COD 를 측정하였다.

Figs. 5~8에서 보는 바와 같이 급속교반 3분, 완속교반 15분에서 SS, BOD₅, COD 제거효율이 높게 나타났으며, 탁도 또한 낮게 측정되었다. 이와 같은 실험 결과를 종합하여 볼 때 급속 및 완속교반시 교반시간이 SS, BOD₅, COD 제거효율, 탁도 제거에 중요한 인자인 것으로 사료된다.

3.2.2 최적응집제량의 결정

원폐수의 pH를 6.5로 조정한 후 황산알루미늄 80 ~440 mg/l , PAM 1~100 mg/l 을 일정하게 넣어 주고, 급속교반(300 rpm) 3분, 완속교반(50 rpm) 15 분, 30분 자연침전시킨 후 분석한 결과 Figs. 9~12에서와 같이 황산알루미늄 320 mg/l , PAM 80 mg/l 를 주입하였을 경우 최적의 조건으로 나타났다.

3.2.3 pH 변화에 따른 탁도, SS, COD, BOD₅의 제거효율

원폐수의 pH를 4.5~8로 조정한 후 황산알루미늄 320 mg/l 를 일정하게 넣어 주고, 급속교반(300 rpm)을 3분, 완속교반(50 rpm)을 15분 간 행한 후, 30분간 자연침전시킨 후 분석한 결과는 Figs. 13, 14

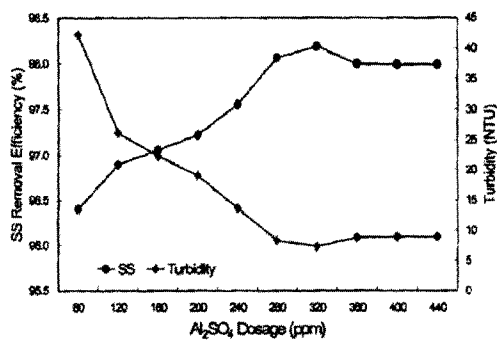


Fig. 9. SS removal efficiency and turbidity with Al₂SO₄ dosage.

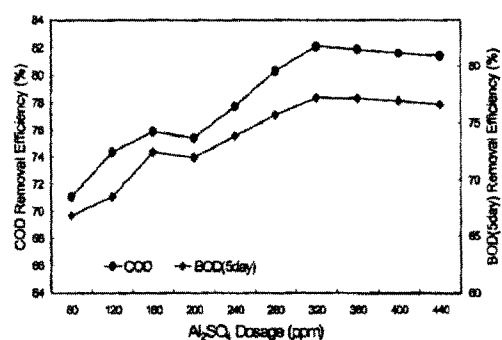


Fig. 10. BOD₅, COD removal efficiency with slow mixing time.

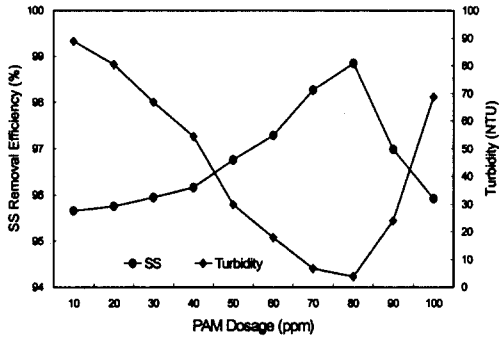


Fig. 11. SS removal efficiency and turbidity with PAM dosage.

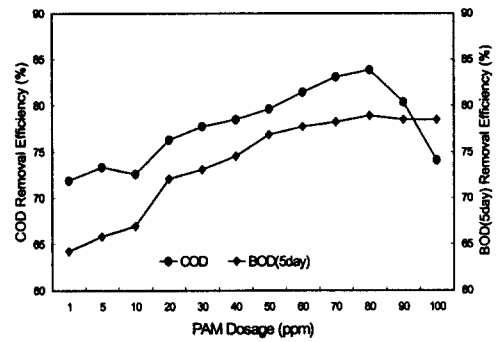


Fig. 12. BOD₅ and COD removal efficiency with PAM dosage.

에서와 같이 pH 6.5에서 제거효율이 가장 높게 나타났다. 그리고 pH를 4.5~8로 조정하면 후 PAM 80 mg/l 를 일정하게 넣어 주고, 위의 교반조건과 동일

하게 행한 후, 30분 간 자연침전시킨 후 분석한 결과는 Figs. 15, 16과 같이 pH 6.5에서 가장 높은 제거효율을 나타냈다

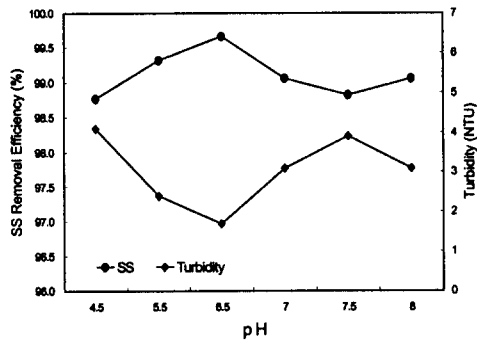


Fig. 13. SS removal efficiency and turbidity of Al₂SO₄ with pH variation.

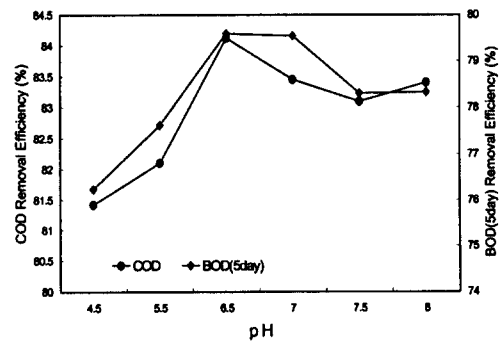


Fig. 14. BOD₅, COD removal efficiency of Al₂SO₄ with pH variation.

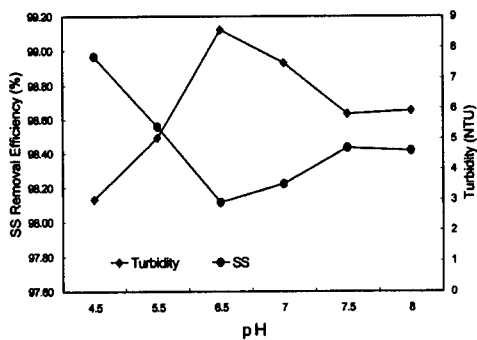


Fig. 15. SS removal efficiency and turbidity of PAM with pH variation.

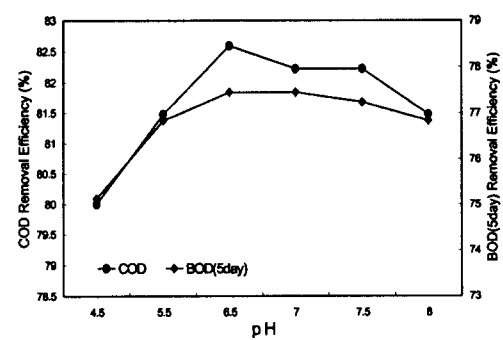


Fig. 16. BOD₅, COD removal efficiency of PAM with pH variation.

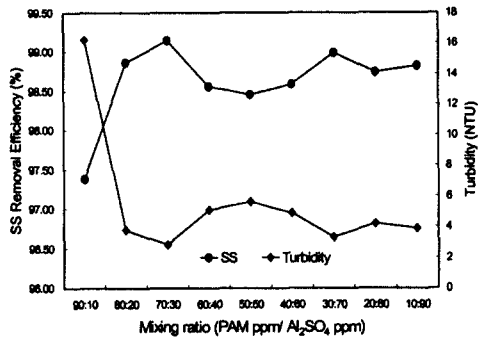


Fig. 17. SS removal efficiency and turbidity with mixing ratio(PAM/Al₂SO₄).

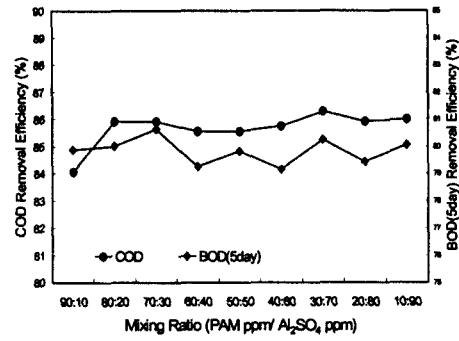


Fig. 18. BOD₅, COD removal efficiency and turbidity with mixing ratio(PAM/Al₂SO₄).

3.2.4 응집제의 혼합비에 따른 오염물 제거 효율

고분자 응집제와 황산알루미늄의 혼합 사용시 혼합비에 따른 오염물 제거효율을 알아보기 위해 PAM/황산알루미늄 비율을 90:10~10:90 으로 조정하여 급속 교반(300 rpm) 3분, 완속교반(50 rpm) 15분, 30분 침전 후 상등액을 측정하여 결과는 Figs. 17, 18 에서와

같이 70:30과 30:70의 혼합비가 가장 좋은 효율을 나타내고 있지만 다른 혼합비와 그 차이가 미세하므로 고가의 고분자 응집제를 다량 사용하는 것보다 저가의 황산알루미늄과 혼합해서 사용하는 것이 더 효율적일 것으로 사료된다. 따라서 황산알루미늄은 각 지중별 폐수 성상과 실정에 따라 적절히 혼합비를 정하는 것이 바람직하다고 생각된다.

Table 3-1. Mechanical strength and turbidity with variable condition of flocculation

Rapid mixing speed (rpm)	Rapid mixing time (sec)	Slow mixing time (min)	PAM						70:30 (PAM/Al ₂ SO ₄)		
			Mixing after injection			Mixing before injection			Mixing after injection		
			RT(O)	RT(B)	RT(B)-RT(O)	RT(O)	RT(B)	RT(B)-RT(O)	RT(O)	RT(B)	RT(B)-RT(O)
100	60	15	13.3	7.01	-6.3	14.1	7.35	-6.7	36	26.4	-9.6
	120		11.3	7.05	-4.2	13.6	6.68	-6.9	35.5	25.7	-9.8
	180		9.56	6.24	-3.3	11.6	8.83	-2.8	33.5	24.8	-8.7
	240		9.19	5.69	-3.5	12.3	7.55	-4.7	31.8	24.4	-7.4
	300		11.3	5.42	-5.9	10.3	7.36	-2.9	17.5	10.5	-7.1
200	60	15	23.6	9.87	-14	18.8	12.8	-6.1	30.7	23.9	-6.8
	120		17.1	9.48	-7.7	16.4	10.3	-6.1	26.7	22.4	-4.4
	180		13.6	9.13	-4.5	13.2	9.49	-3.7	18.7	12.1	-6.6
	240		10.1	8.15	-2	12.1	8.96	-3.2	23.5	18.4	-5.1
	300		9.39	6.53	-2.9	9.13	7.96	-1.2	23.4	18.6	-4.8
300	60	15	11.5	7.84	-3.7	18.8	15.8	-3	22.1	15.5	-6.6
	120		11.1	7.21	-3.89	15.7	12.6	-3.1	16.9	12.6	-4.3
	180		7.25	6.54	-0.7	13.6	11.1	-2.5	16.4	13.8	-2.6
	240		5.9	5.08	-0.82	11.7	10.9	-0.8	13.3	16.2	2.82
	300		5.51	4.8	-0.7	11	9.79	-1.2	17.5	15.6	-1.9

RT(O): Residual Turbidity (O: Turbidity after 30 min sedimentation)

RT(B): Residual Turbidity (B: Turbidity after Breakage with 500 rpm and 30 min sedimentation)

Table 3-2. Mechanical strength and turbidity with variable condition of flocculation

Rapid mixing speed (rpm)	Rapid mixing time (sec)	Slow mixing time (min)	Aluminum sulfate						30:70 (PAM/Al ₂ SO ₄)		
			Mixing after injection			Mixing before injection			Mixing after injection		
			RT(O)	RT(B)	RT(B)-RT(O)	RT(O)	RT(B)	RT(B)-RT(O)	RT(O)	RT(B)	RT(B)-RT(O)
100	60	15	23.7	16.7	14.4	3.88	26.4	22.5	13.7	7.43	-6.3
	120		2.76	14.6	11.9	4.98	25.9	20.9	12.9	7.04	-5.8
	180		2.83	16.7	13.9	5.14	25.5	20.4	12.5	7.86	-4.6
	240		2.41	14.7	12.3	4.51	25.7	21.2	2.7	19.1	16.4
	300		3.12	16.9	13.8	4.53	26.2	21.7	10.3	6.55	-3.7
200	60	15	2.81	15.7	12.9	3.64	22.6	19	2.14	4.68	2.54
	120		3.31	16.9	13.6	4.07	23	18.9	2	2.23	0.23
	180		3.51	16.9	13.4	4.02	22.7	18.7	1.9	3.51	1.61
	240		3.23	17.9	14.7	4.46	22.3	17.8	1.5	3.34	1.84
	300		4.21	16.3	12.1	4.47	23.5	19	1.44	3.24	1.8
300	60	15	3.92	16.7	12.7	3.7	20.6	16.9	9.97	7.59	-2.4
	120		3.82	17.5	13.7	4.29	23.1	18.8	2.28	2.89	0.61
	180		5.05	15	9.93	5.19	20.1	14.9	2.01	2.63	0.62
	240		4.62	17.2	12.6	4.84	23.7	18.9	1.69	2.96	1.27
	300		7.57	18.4	10.8	5.79	23.4	17.6	4.63	4.3	-0.3

RT(O): Residual Turbidity (O: Turbidity after 30 min sedimentation)

RT(B): Residual Turbidity (B: Turbidity after Breakage with 500 rpm and 30 min sedimentation)

3.3 기계적 강도 측정

교반 조건을 달리하여 응집실험을 행한 결과를 Table 3-1, 3-2에 나타내었다. 표에서 보는 것과 같이 급속교반 전에 주입한 것이 교반 중에 주입한 것보다 탁도가 낮게 나타나며, 고분자 응집제와 70:30 혼합한 응집제는 300 rpm에서 더 낮은 탁도를 나타내었으며, 황산알루미늄은 100 rpm에서 30:70 혼합한 응집제는 200 rpm에서 가장 낮은 탁도를 나타내었다. 또한 플록의 기계적 강도는 300 rpm으로 갈수록 더 좋아지는 것을 볼 수 있다. 고분자 응집제의 경우 플록을 파괴한 쪽이 더 낮은 탁도를 나타내었는데 이는 고분자 응집제의 잔류영향에 의해 고전단에 의한 재응집이 일어났을 것으로 사료된다.

4. 결론

본 논문에서는 PAM과 황산알루미늄을 이용하여 응집 및 침전에 영향을 주는 인자를 변화시키며 최적의 응집조건을 검토하고자 시험하였으며 결론은 다음과 같다.

1. 체류시간에 따른 SS와 BOD₅ 제거효율은 체류시간이 증가함에 따라 증가하였으며, 표면부하율은 감소하였다.
2. 응집제의 종류에 따른 탁도 변화를 알아보기 위하여 약품 교반 실험을 한 결과 PAM이 황산알루미늄보다 응집효과면에서 약간 우수하였다.
3. 응집인자 중 교반시간이 응집효과에 미치는 영향을 분석한 결과 floc 형성시 응집제와의 접촉시간, 접촉강도 등에 영향이 민감한 것으로 사료되며, 일정한 반응시간, 즉 급속교반시간 3분, 완속교반시간 15분에서부터는 교반시간이 증가하여도 탁도 제거효율에 미치는 영향이 둔화되었다.
4. pH가 응집제에 미치는 영향은 PAM, 황산알루미늄 모두 6.5~7 사이에서 응집이 잘 이루어졌다.
5. 적정 응집제 투여량은 PAM 80 mg/l, Al₂(SO₄)₃ 320 mg/l 일 때 가장 처리 효과가 우수하게 나타났다.
6. 고분자 응집제와 황산알루미늄의 혼합비에 따른 오염물 제거효율은 미세한 차이를 나타내었으므로 응집제의 비용에 따라 적절히 혼합하는 것이 바람직하다고 생각된다.

7. 응집조건을 변화시키며 플록의 기계적 강도를 측정한 결과는 급속교반 전에 응집제를 주입한 경우가 더 좋은 강도를 나타내었으며 300 rpm으로 갈수록 더 좋은 강도를 나타내었다.

인 용 문 헌

1. Allan, M., Springer, Industrial Environmental Control Pulp And Paper Industry, Second Edition, p. 203 (1993).
2. Benefield, L. D., et al., Process Chemistry for Water and Wastewater Treatment, Prentice Hall Inc., p. 208 (1982).
3. Unno. H., H. Muraiso and T. Akehata, Water Res., 17, p. 149 (1983).
4. Latterman, R. D., et al., Influence of Rapid-Mix Parameters on flocculation. J. AWWA 65, 11, p716 (1973).
5. Bratby, J. R., Optimizing Coagulants and flocculant Aids for Settling J. AWWA 6, p. 312 (1981).
6. Ramalho, R. S., Introduction to Wastewater Treatment Process, Second Edition, p. 127 (1983).
7. Kim, J. H., J. of KSEE, 13(4):209 (1991).
8. Tillman, G. M., Primary Treatment at Wastewater Treatment Plants, p. 19 (1992).
9. Cho, J. H., J. Korea TAPPI 21(4):16 (1989).
10. Chung. J. K., 환경공학개론, 청음사, 서울, p. 73 (1983).
11. Editor, 수질오염 공정시험방법, 동화기술, 서울, p. 244 (1992).