응집침전법에 의한 재생지 폐수처리

임택준* · 이성호 · 조준형
강원대학교 제지공학과

1. 서 론

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

응집(Coagulation)은 콜로이드의 안정성을 파괴하여 작은 floc을 생성시켜 주는 급속교반과 응집의 다음 단계인 여과와 침전을 쉽게 하기 위하여 큰 floc을 생성시켜 주는 완속교반의 두 단계로 구분할 수 있다.[1] 급속교반에 의해 생성된 초기의 미세한 floc의 특성이 최종 floc의 특징이나 처리효율에 중요한 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.[2] 따라서 처리효율을 증가시키기 위해 급속교반의 시간과 강도를 결정하는 것이 매우 중요하다. 또한 응집제의 적절한 선별과 사용은 floc형성이나, 처리효율에 중요한 영향을 미친다. 응집제는 무기응집제와 고분자응집제를 사용하고 있으며 floc의 여과성, 침전성, 강도 등의 특성을 좋게 하고, 침전지의 크기를 줄이는 등 경제성을 고려하여 응집제를 동시에 함께 사용하기도 한다.[3]

본 연구에서는 재생지 폐수의 침전특성을 파악하고, 부유물질(Suspended Solid), 생물화학적 산소요구량(Biochemical Oxygen Demand)의 제거효율을 측정하였으며, Jar-Tester를 이용하여 급속교반시간, 완속교반시간, 응집제 첨가량에 따른 탁도, 부유물질, 생물화학적 산소요구량(Biochemical Oxygen Demand), 화학적 산소요구량(Chemical Oxygen Demand)를 측정하여 최적응집제 주입량을 검토하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

본 연구에서는 우유팩을 원료로 하여 화장지를 생산하는 제지공장의 원폐수를 사용하였으며, 응집제로는 Al_2SO_4와 PAA(Polyacrylamide) 2종이며, 원폐수의 성상은 다음과 같다.

Table 1. 원폐수의 성상

Item	원폐수
pH	6~7
BOD_5(mg/L)	397.4
COD(mg/L)	550.8
SS(mg/L)	2,000
Turbidity(NTU)	940

2.2 실험방법

2.2.1 침전관 실험장치

제지폐수의 침전특성과 침전시간별 SS제거효율, BOD_5제거효율을 알아보기 위하여 침전관을 사용하였다. 본 연구에 이용된 실험장치는 높이 200cm, 직경 15cm의 투명한 원통형 아크릴관이며, 상부에서 50cm간격으로 분석용 시료채취구를 설치하여 5분, 10분, 15분, 20분, 30분 간격으로 시료를 채취하여 분석하였다.

2.2.2 Jar-test 실험장치

회분식 실험을 위해서 Bhole Ives가 사용한 것과 같은 Jar-tester를 이용하였다. 원폐수 500㎖를 1ℓ Beaker에 취하여 급속교반, 완속교반, 자연침강을 시킨 후 시료를 채취하여 분석하였다.

2.2.3 분석방법

모든 분석방법은 환경오염공정시험법과 Standard method에 준하여 시험하였으며, 아래 Table 2.에 제시하였다.

Table 2. 분석장비 및 방법

pH	HANNA pH/mH meter. Model 15189N
Suspended Solids	Dry-oven, Electric muffle furnace
Turbidity	Turbidity Instrument(moniTEK MODEL 21PE)
Chemical Oxygen Demand	TOA COD-50S Digital COD meter
Biochemical Oxygen Demand	ORION DO meter Model 862, Incubator

3. 결과 및 고찰

3.1 중력침전

3.1.1 침전시간별 침전특성

원폐수를 침전시킨 후 상등액의 SS 및 BOD_5의 침전시간에 대한 각 깊이에서의 제거율을 도식화하여 침전시간에 따른 제거효율과 표면부하율을 구하기 위한 기초자료로 SS의 침전등농도 곡선과, BOD_5의 침전등농도 곡선을 Fig.1, Fig.2.에 나타내었다. 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.

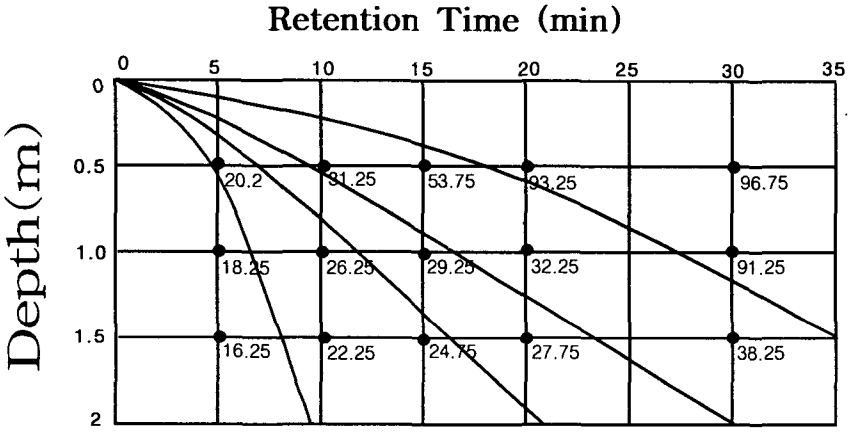

Fig. 1. SS제거율과 등농도 곡선.

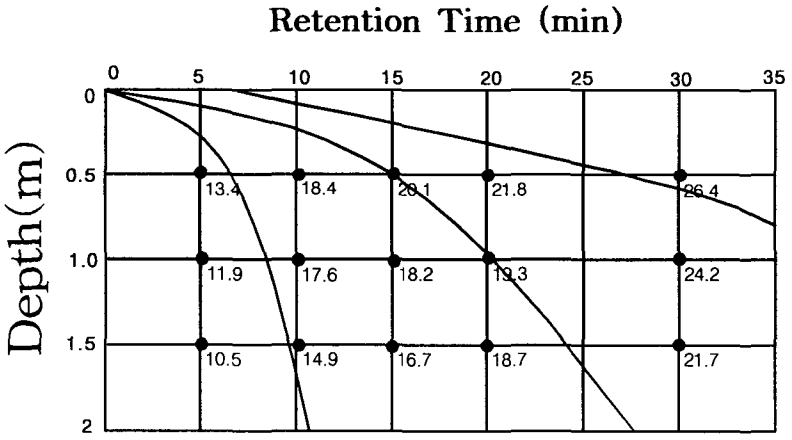

Fig. 2. BOD_5 제거율과 등농도 곡선.

3.1.2 SS 및 BOD_5 제거율

Fig. 3 에서 알 수 있듯이 수리학적체류시간에 대한 SS의 총제거율은 체류시간이 길어짐에 따라 증가하는 것으로 나타났으며, 수리학적체류시간 30분에서 SS제거율은 96.75%로 나타났고, BOD_5의 총제거율은 상기 SS와 동일한 방법으로 산출하였다.

수리학적체류시간과 표면부하율과의 관계는 Fig.4에 제시된 바와 같이 체류시간이 증가함에 따라 표면부하율은 감소하는 경향을 보여주었다.

3.2 약품침전실험

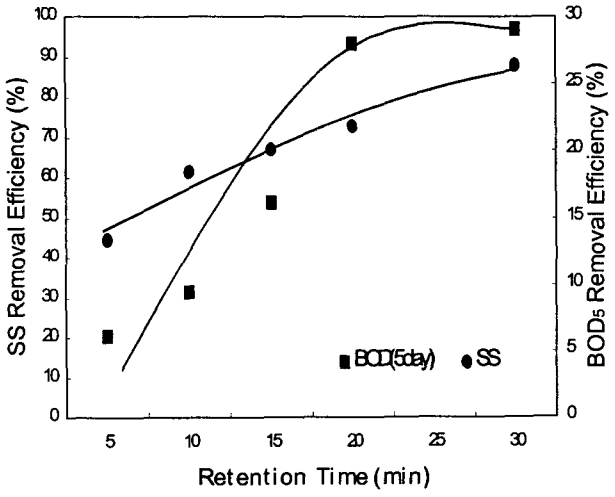

Fig. 3. 체류시간에 따른 SS, BOD_5 제거효율.

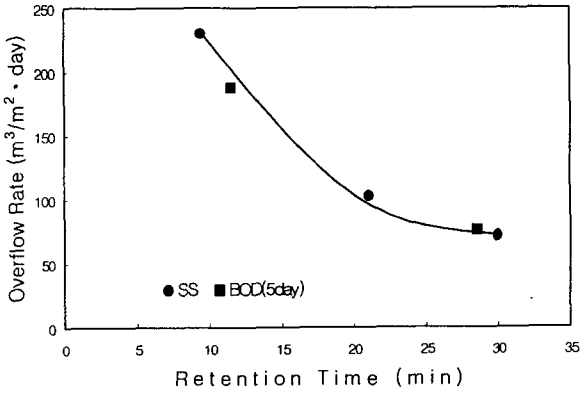

Fig. 4. 체류시간에 따른 표면부하율.

3.2.1 교반시간에 따른 탁도, SS, BOD_5, COD의 제거효율

원폐수의 pH를 6.5로 조정하여 시료 1ℓ에 PAA를 80mg/ℓ 첨가한 후 시간을 1분~9분으로 급속교반(300rpm)시키고, 15분간 완속교반(50rpm)한 후, 30분간 침전시켜 탁도, SS, BOD_5, COD를 측정하였다. 그리고 pH를 6.5로 조정하여 PAA를 80mg/ℓ 첨가한 후 급속교반(300rpm)시키고, 시간을 10분~40분으로 완속교반(50rpm)한 후, 30분간 침전시켜 탁도, SS, BOD_5, COD를 측정하였다. Fig.5, Fig.6, Fig.7, Fig.8에서 보는바와 같이 급속교반 3분, 완속교반 15분에서 SS, BOD_5, COD 제거효율이 높게 나타났으며, 탁도 또한 낮게 측정되었다. 이와 같은 실험결과를 종합하여 볼 때 급속 및 완속교반에 대한 응집시간이 SS, BOD_5, COD 제거효율, 탁도 제거에 중요한 인자인 것으로 사료된다.

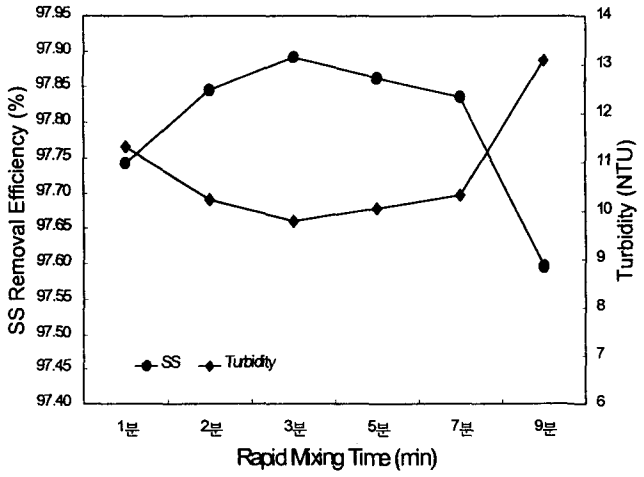

Fig. 5. 급속교반시간에 따른 SS, 탁도 제거율.

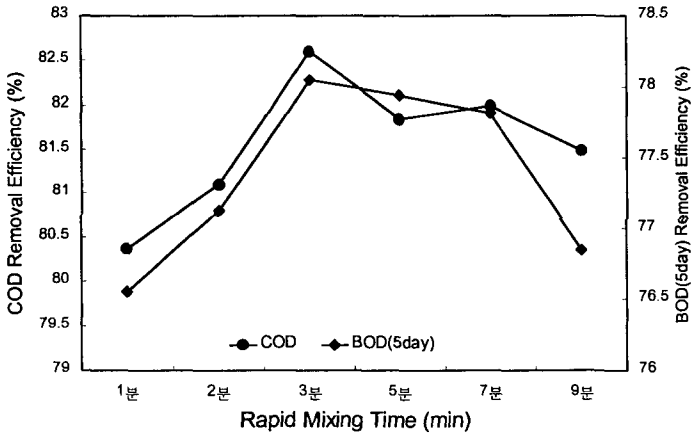

Fig. 6. 급속교반시간에 따른 BOD_5, COD 제거율.

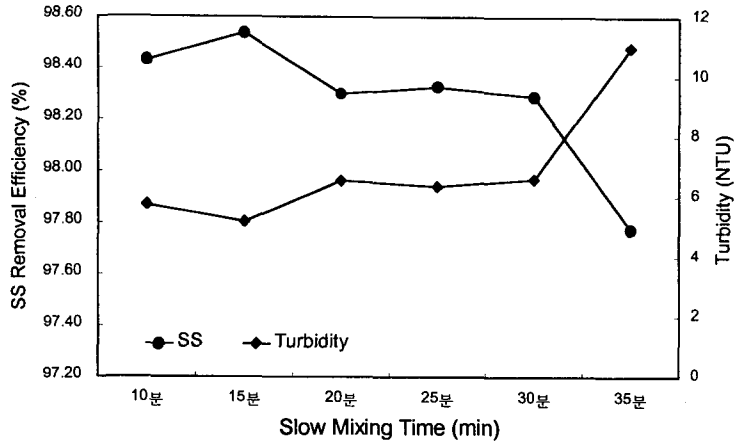

Fig. 7. 완속교반시간에 따른 SS, 탁도 제거율.

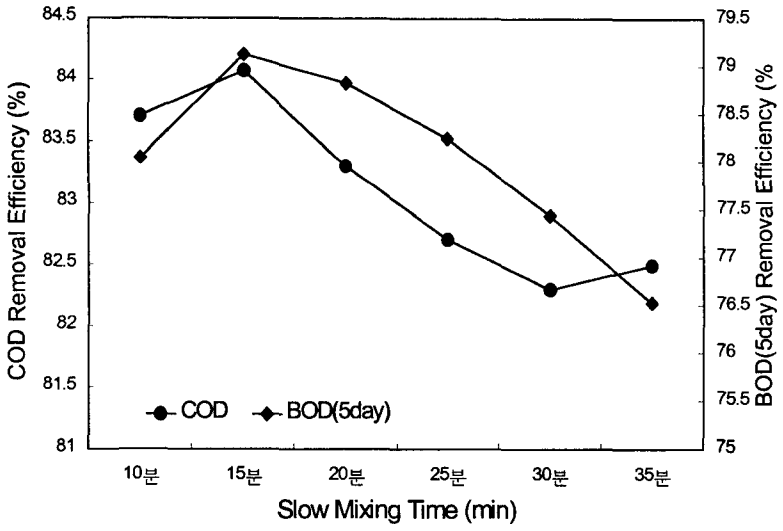

Fig. 8. 완속교반시간에 따른 BOD_5, COD 제거율.

3.2.2 pH변화에 따른 탁도, SS, BOD_5, COD의 제거효율

원폐수의 pH를 4.5~8로 조정한 후 황산알루미늄 320mg/ℓ를 일정하게 넣어 주고, 급속교반(300rpm) 3분, 완속교반(50rpm) 15분, 30분을 자연침전시킨 후 분석한 결과는 Fig.9, Fig.10에서와 같이 pH 6.5에서 제거효율이 가장 높게 나타났다. 그리고 pH를 4.5~8로 조정한 후 PAA 80mg/ℓ를 일정하게 넣어 주고, 급속교반(300rpm) 3분, 완속교반(50rpm) 15분, 30분을 자연침전시킨 후 분석한 결과는 Fig.11, Fig.12와 같이 pH 6.5에서 가장 높은 제거효율을 나타냈다.

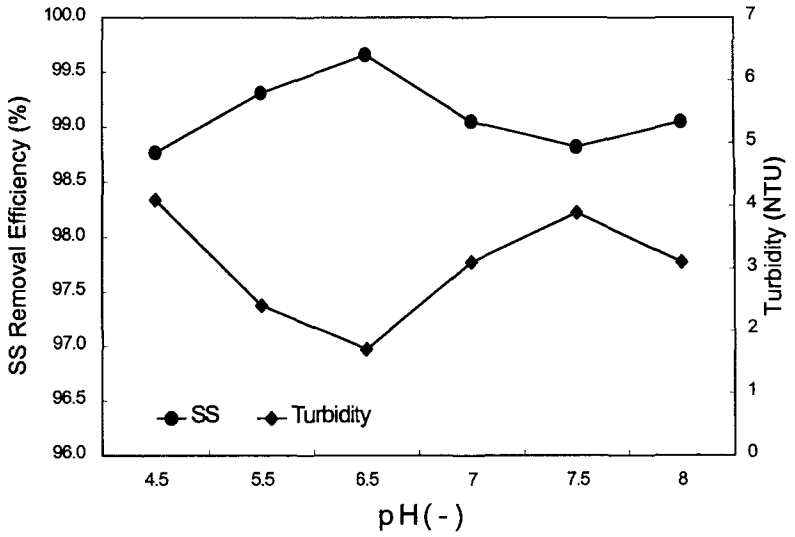

Fig. 9. 황산알루미늄의 pH변화에 따른 SS, 탁도 제거율.

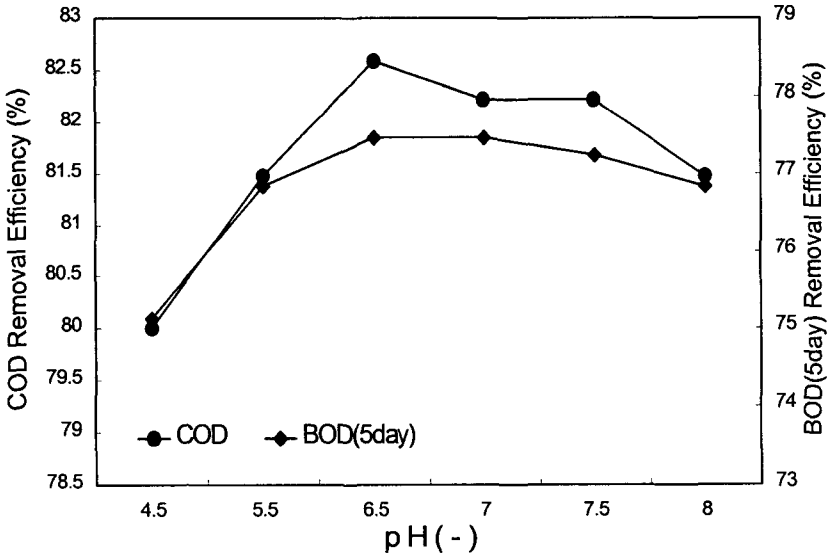

Fig. 10. 황산알루미늄의 pH변화에 따른 BOD_5, COD 제거율

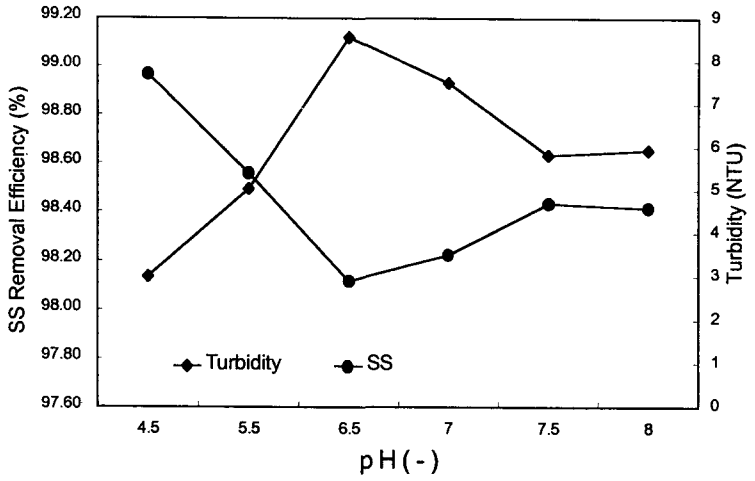

Fig. 11. PAA의 pH변화에 따른 SS, 탁도 제거율.

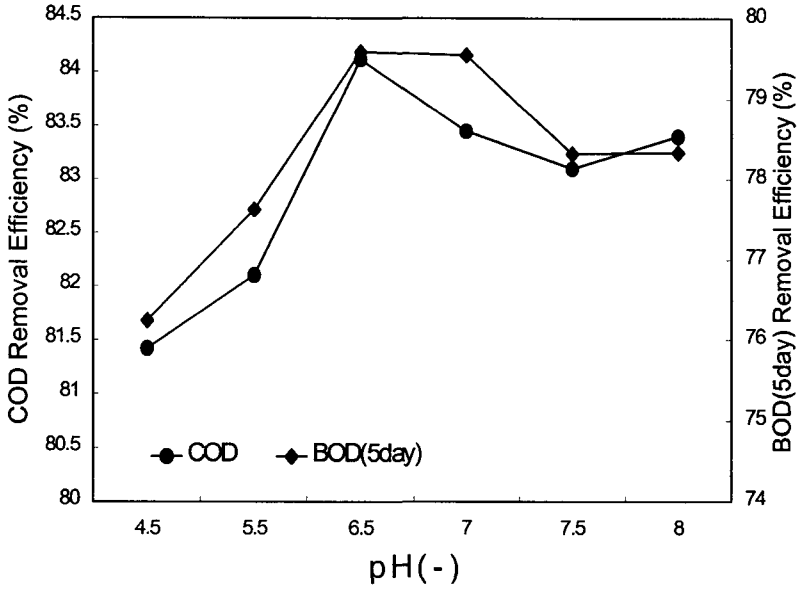

Fig. 12. PAA의 pH변화에 따른 BOD_5, COD 제거율.

3.2.3 최적응집제량의 결정

원폐수에 pH를 6.5로 조정한 후 황산알루미늄 80~440mg/ℓ, PAA 1~100mg/ℓ를 일정하게 넣어 주고, 급속교반(300rpm) 3분, 완속교반(50rpm) 15분, 30분 자연침전시킨 후 분석한 결과 Fig.13~Fig.16에서와 같이 황산알루미늄 320mg/ℓ, PAA 80mg/ℓ를 주입하였을 경우 최적의 조건으로 나타났다.

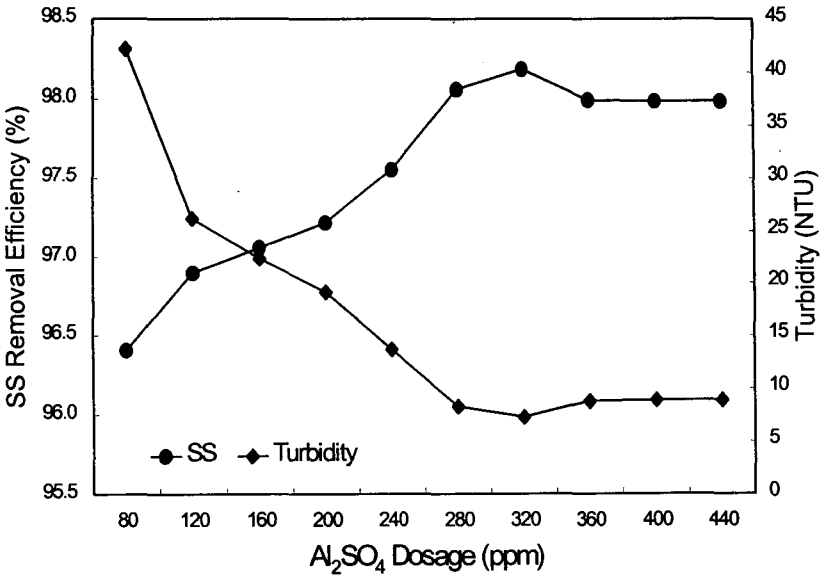

Fig. 13. 황산알루미늄의 주입량에 따른 SS, 탁도 제거율.

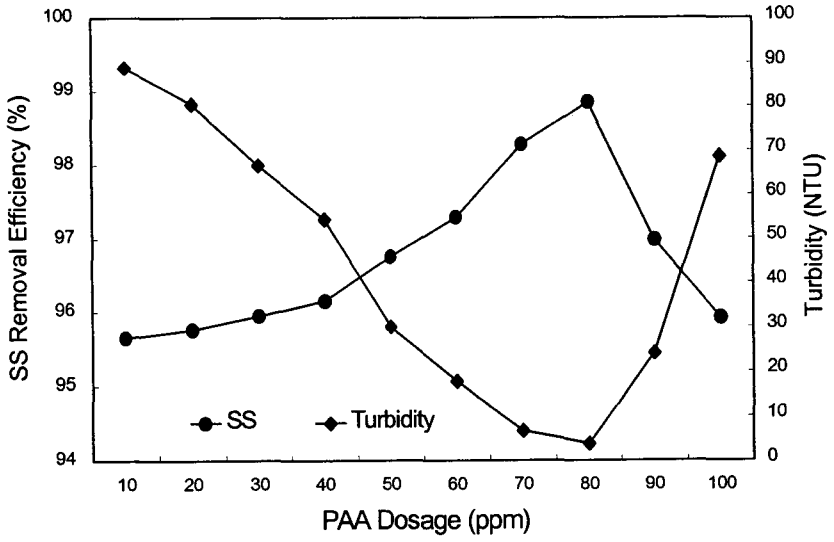

Fig. 14. PAA의 주입량에 따른 SS, 탁도 제거율.

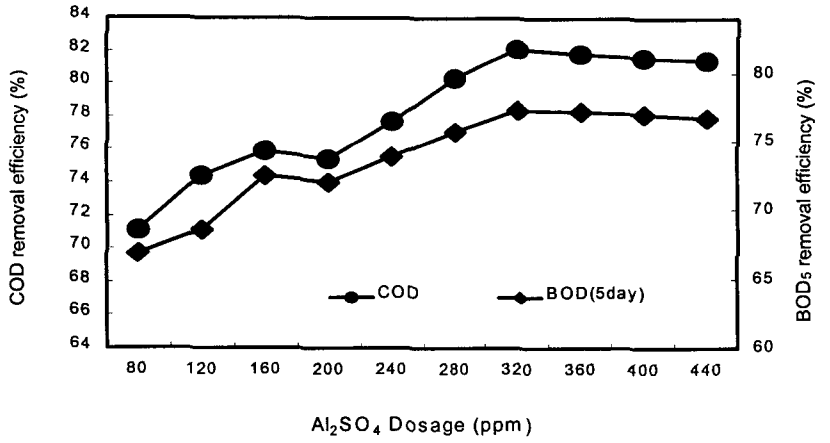

Fig. 15. 황산알루미늄의 주입량에 따른 BOD_5, COD 제거율.

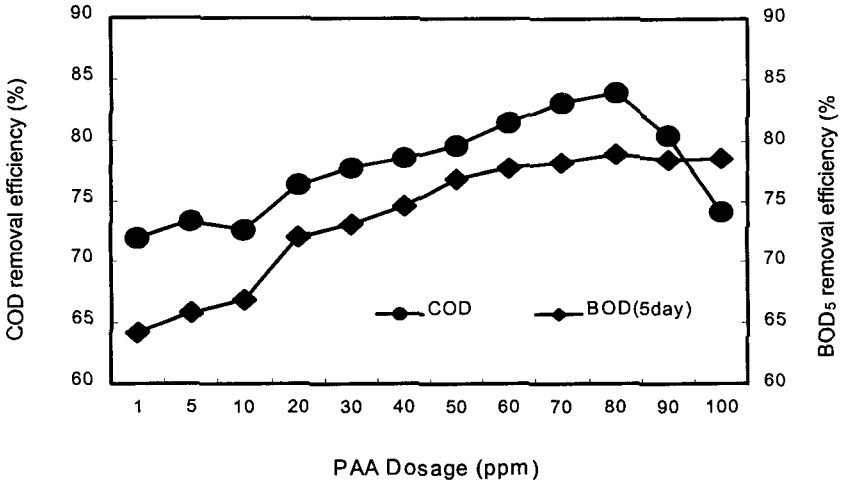

Fig. 16. PAA의 주입량에 따른 BOD_5, COD 제거율.

3.2.4 응집제의 혼합비에 따른 오염물 제거효율

고분자 응집제와 황산알루미늄의 혼합 사용시의 혼합비에 따른 오염물 제거효율을 알아보기 위해 PAA/황산알루미늄 비율을 90:10~10:90으로 조정하여 급속교반(300rpm) 3분, 완속교반(50rpm) 15분, 30분 침전 후 상등액을 측정한 결과는 Fig. 17, Fig. 18 에서와 같이 70:30과 30:70의 혼합비가 가장 좋은 효율을 나타내고는 있지만 다른 혼합비와 그 차이가 미세하므로 고가의 고분자 응집제를 다량 사용하는 것 보다 저가의 황산알루미늄과 혼합해서 사용하는 것이 더 효율적일 것 같다. 따라서 황산알루미늄은 공장의 실정에 따라 적절히 혼합비를 정하는 것이 바람직하다고 생각된다.

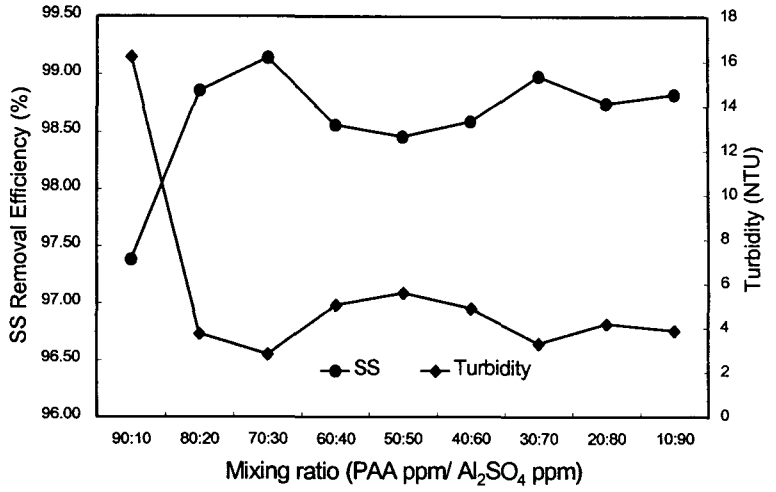

Fig. 17. PAA/황산알루미늄 혼합비에 따른 SS, 탁도 제거율.

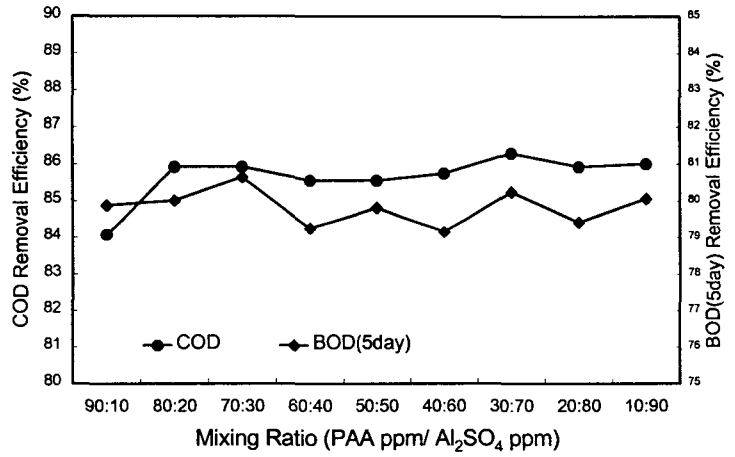

Fig. 18. PAA/황산알루미늄 혼합비에 따른 BOD_5, COD 제거율.

4. 결 론

본 논문에서는 응집 및 침전에 영향을 주는 인자가 제지공정 원폐수의 탁도 제거시 응집제(황산알루미늄, PAC)를 사용하여 미치는 영향에 대하여 검토한 결과는 다음과 같다.

1) 체류시간에 따른 SS와 BOD_5 제거효율은 체류시간이 증가함에 따라 감소하였으며, 표면부하율도 감소하였다.
2) 응집제의 종류에 따른 탁도 변화를 알아보기 위하여 약품 교반 실험을 한 결과 PAA가 황산알루미늄보다 응집 효과 면에서 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 PAA, 황산알루미늄 모두 6.5~7사이에서 응집이 잘 이루어졌다.

5) 적정 응집제 투여량은 PAA 80mg/ℓ, $Al_2(SO_4)_3$ 320mg/ℓ일 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.

5. 참고 문헌

1. L.D. Benefield, et al Process Chemistry for Water and Wastewater Treatment Prentice Hall Inc. (1982)
2. R.D. Latterman, et al "Influence of Rapid-Mix Parameters on flocculation" Jour. AWWA 65, 11, 716 (1973).
3. J.R. Bratby "Optimizing Coagulants and flocculant Aids for Settling" Jour. AWWA 6, 312 (1981).
4. R.S. Ramalho, "Introduction to Wastewater Treatment Process" Second Edition (1983)
5. Allan M. Springer, "Industrial Environmental Control Pulp And Paper Industry" Second Edition (1993)