

## 제지폐수의 응집특성에 관한 연구

조준형<sup>1)</sup> · 정원구<sup>2)</sup> · 김준환<sup>3)</sup>

### Study on Wastewater of Paper Mill for Coagulant Characteristics

Jun-Hyung Cho<sup>1)</sup>, Won-Gu Jeong<sup>2)</sup> and Joon-Hwan Kim<sup>3)</sup>

#### 要 約

본 연구에서는 우유팩을 이용하여 재생용 화장지를 만드는 제지공장의 제지폐수를 이용하여 폐수의 침강특성 및 SS, BOD<sub>5</sub>, 제거 효율을 검토하고, Jar-tester를 이용하여 급속교반시간, 완속교반 시간에 따른 탁도, SS, S-BOD<sub>5</sub> 및 최적 응집제 주입량을 결정하였다. 각종 응집제 첨가 및 침강 특성에 의한 탁도제거의 효율을 측정하였다. 적정 응집제 첨가량, 급속교반 및 완속교반의 시간에 따른 처리 효율의 이론식을 제시하였다. 또한 응집제 Polyaluminium chloride(PAC) 및 Aluminium sulfate의 응집 비교 실험을 행하였다.

#### ABSTRACT

Sedimentation characteristics SS, BOD<sub>5</sub> and removal efficiency of waste water in the tissue paper mill using milk carton were examined. Optimum dosage of coagulant, rapid mixing time and slow mixing time were determined by turbidity, SS and S-BOD<sub>5</sub> and then equation for treatment efficiency was suggested. For the coagulant, polyaluminium chloride(PAC) are compared with a little better efficiency compare to the aluminium sulfate.

*Key Words : SS, BOD<sub>5</sub>, turbidity, removal efficiency, coagulant.*

#### I. 서 론

종이는 최근의 정보산업의 발달에 따라

기하급수적인 수요확대로 생산량이 급증하고 있으며, 이에 따른 펄프 제지공장의 폐수 배출량도 급속히 증가하고 있다. 종이 제조

- 1) 강원대학교 산림과학대학 제지공학과 : Dept. of Paper Science & Engineering, College of Forest Sciences, Kangwon National University
- 2) 강원도 보건환경연구원 : Kangwon Do Health and Environmental Research Institute.
- 3) 강원대학교 대학원 제지공학과 : Dept. of Paper Science & Engineering, Graduate School, Kangwon National University

시설은 목재, 폐지 및 기타 섬유물질로 펄프를 제조하거나 펄프로 종이, 판지, 가공지 및 종이용기, 표지제품을 제조하는 시설로 펄프화 공정 및 종이 생산공정으로 이루어지는 자본집약적 산업인 동시에 자본 다소비 산업이며 폐수배출 등 비교적 공해가 많은 산업이다.

지류중 인쇄용지, 신문용지 등 문화용지의 소비는 국민소득 및 문화수준에 의존성이 강하고, 크라프트지, 판지 등의 산업용지는 시멘트, 비료산업 및 기타 조업의 경기동향에 민감하게 반응하는 소비재 산업의 특성을 지니고 있다.

종이제조업은 용수형 산업으로 용수 사용량은 1일 48천톤으로서 국내 제조업중 중제4위의 용수 사용량을 나타내고 있으며, 그에 따른 폐수 배출량도 국내 폐수배출량 4,487천톤 중 제지폐수 배출량은 449천으로 총 폐수 배출량의 10%를 차지해 국내 업종별 폐수 배출량에 있어서 두번째를 차지하고 있다. 펄프 제지폐수 중의 오염물질을 제거하기 위해서 물리적, 화학적 및 생물학적 처리방법이 연구되고 있으며 물리적 처리방법으로는 스크린, 침전, 부상, 여과 등이 행해지며, 화학적 처리방법에는 중화, 응집 등이 있다. 그리고 생물학적 처리방법으로는 대부분 박테리아를 이용한 현탁 증식처리 공정인 활성 슬러지법이 행해지고 있다. 위의 처리방법 중 침전, 응집, 활성 슬러지법은 폐수처리에 있어 가장 기본적인 중요 처리방법이다. 응집은 콜로이드의 안전성을 파악하여 작은 floc을 생성시켜주는 급속 교반과 응집의 다음 단계인 여과와 침전을 쉽게 하기 위하여 큰 floc을 생성시켜주는 완속 교반의 두 단계로 구분할 수 있다(환경처, 1988). 급속교반에 의해 생성된 초기의 미세한 floc의 특성이 최종 floc의 특성이나 처리효율에 중요한 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(환경부, 1995). 따라서 원하는 처리효율을 얻기 위해 적절한 급속 교반의 시간과 강도를 결정하는 것이 매우 중요

하다(Benefield et al., 1982). 응집제로는 무기 응집제와 고분자 응집제를 사용하고 있으며 floc의 여과성, 침전성, 강도 등의 특성을 향상시키고 경제성을 고려하여 사용하기도 한다(Latterman et al., 1973; Bratby, 1981). 따라서 본 연구에서는 우유팩을 이용하여 재생용 화장지를 제조하는 제지공장의 제지폐수를 이용하여 폐수의 침강특성 및 중력침강 후 SS(현탁 고형물), BOD<sub>5</sub>(생물 화학적 산소요구량)의 제거효율을 검토하고, Jar-tester를 이용하여 급속교반시간, 완속교반시간에 따른 탁도, SS, S-BOD<sub>5</sub> 및 최적응집제 주입량을 결정하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 재 료

우유팩을 원료로 하여 화장지를 생산하는 제지공장의 원폐수를 사용하였으며, 폐수처리공정도 및 특성은 그림 1과 같다.

### 2. 실험방법

제지폐수의 침전특성과 침전시간별 SS 제거효율, BOD<sub>5</sub> 제거효율을 알아보기 위해 침전관을 사용하였다. 본 연구에 사용된 실험장치는 다음과 같이 높이 20cm, 직경 15cm의 투명한 아크릴 관으로 제작하였으며, 상부로부터 50cm 간격으로 분석용 시료 채취구를 설치하여 5분, 10분, 15분, 20분, 30분 간격으로 시료를 채취하여 분석하였다. 또한 응집특성을 알아보기 위해 Jar-tester를 이용하여 원폐수 500mL를 1L 비이커에 취하여 급속교반, 완속교반, 자연침강을 시킨 후 시료를 채취하여 분석하였다. 분석방법으로는 환경오염공정시험법과 Standard Method (ASTM)에 준하여 시험되었으며, Table 2에 제시하였다.

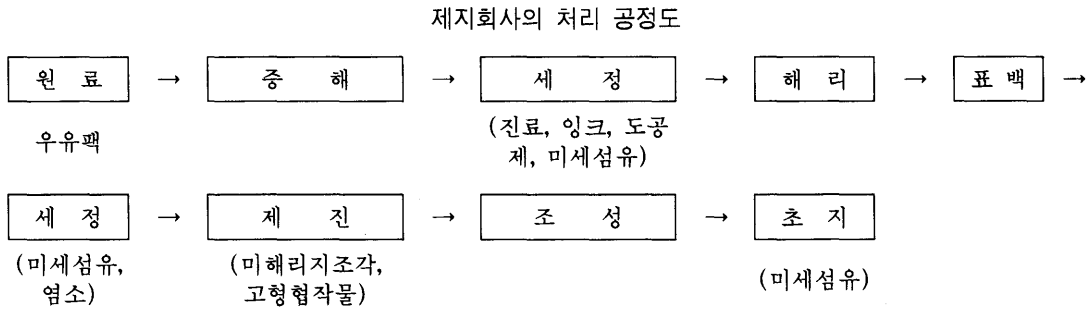


Fig. 1. The treatment process in paper mill used in this study.

Table 1. Characteristics of wastewater used in this study

Item	Raw wastewater(Avg)
pH	7.0
BOD <sub>5</sub> (mg/L)	255.4
SS(mg/L)	2,000
Turbidity(NTu)	940

Table 2. Analytical apparatus and method.

pH	HANNA pH/mH meter. Model 15189N
Suspended solids	Dry-oven, Electric muffle furnace
Turbidity	Turbidity Instrument(monitek MODEL 21PE)
Soluble-biochemical oxygen demand	TOC Analyzer
Biochemical oxygen demand	Winkler method azide modification

solids) 즉 침전성 고형물을 중력에 의해 가라 앉혀 제거하는 것으로 정화(clarification) 또는 농축(thickening)이라고도 한다. 부유물 농도가 낮은 상태에서 응결되지 않는 독립 입자로서 침전은 입자상호간에 방해가 없고 단지 유체나 입자의 특성에 의해서만 영향을 받는 경우에는 Stokes식을 사용하여 구형의 입자가 정체유체 또는 층류층을 침하하는 종말속도를 구할 수가 있다(McCabe & Smith, 1985).

$$V_s = \frac{g(\rho_s - \rho)d^2}{18\mu} \quad (1)$$

여기서  $V_s$ [cm/s]는 입자의 종말속도,  $g$ [cm/s<sup>2</sup>]는 중력가속도,  $\rho_s$ [g/cm<sup>3</sup>]는 고형물 입자의 진밀도,  $\rho$ [g/cm<sup>3</sup>]는 유체의 밀도,  $d$ [cm]는 입자의 직경,  $\mu$ [g/cm s]는 유체의 점도이다.

## 2) 난류조건에서의 기본식

응집 침전법에서는 입자의 충돌기회를 늘려주기 위하여 급속 교반을 실시하고 완속 교반에 의하여 입자들의 응집이 촉진된다. 하수처리의 응집공정은 난류조건하에 운전되므로 난류조건하의 응집이론이 적용되고 있다. Levich의 연구(Levich, 1962)에 의하면 난류영역하의 현탁성물질의 단위용적당 단위시간당 충돌횟수는 식(3)으로 표시된다.

## Ⅲ. 응집침전이론

### 1. 응집침전이론의 기초적 고찰

#### 1) 침전(Sedimentation)

침전은 물보다 비중이 큰 부유물(suspended

$$N_{umb} = 12\pi\beta(\epsilon_0/\mu)^{1/2}d^3 n^2 \quad (2)$$

여기서,  $N_{umb}$  [ $1/\text{cm}^3 \cdot \text{s}$ ]은 난류영역에서의 현탁성 물질의 단위시간당 단위 용적당 충돌횟수,  $\beta$  [약  $1/\sqrt{15}$ ] (Fuchs, 1964)는 상수,  $\epsilon_0$  (dissipation rate)는 난류영역에서의 유효 평균 에너지산일율 ( $\text{erg}/\text{cm}^3 \cdot \text{s}$ ),  $\epsilon_0 = (0.1 \sim 0.2) \epsilon^*$ ,  $\epsilon^*$  [ $\text{egr}/\text{cm}^3 \cdot \text{s}$ ]은 난류영역에서의 총 에너지산일율이다 (Tambo & Watanabe, 1979).

고형물 접촉 침전지에서 고농도의 mother floc이 난류상태로 순환하면서 fine floc과 충돌하여 집합한다. 그리고 충돌함으로서 floc size가 크게 다른 두 종류의 floc 사이에서 응집과 같은 현상이 일어난다. 그러므로, 이와 같은 응집은 mother floc이 고농도로 존재하면 응집 시간은 짧아진다. Tambo와 Watanabe는 식(2)을 수정 (Tambo & Watanabe, 1979)하여 난류교반 조건하의 단위시간당, 단위 용적당 mother floc과 fine floc간의 충돌 횟수를 식(3)으로 표시하였다.

$$F = (12/\sqrt{15})\pi(\epsilon_0/\mu)^{1/2}\{(D/2)+(d/2)\}^3 Nn \quad (3)$$

여기서,  $F$ 는 단위 시간당 단위 용적당 mother floc과 fine floc간의 충돌횟수,  $D[\text{cm}]$ 는 mother floc의 평균직경,  $d[\text{cm}]$ 는 floc의 평균직경,  $N$  [ $1/\text{cm}^3$ ]은 단위 용적당 mother floc의 개수,  $n$  [ $1/\text{cm}^3$ ]은 단위 용적당 fine floc의 개수이다.

교반조 내의 반응을 접촉에 의한 응집으로 생각하면,  $D \gg d$ 의 조건에서 접촉응집으로 인한 fine floc수의 시간 변화는 식(4)처럼 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{dn}{dt} &= -\frac{3n}{2\sqrt{15}} \alpha(\epsilon_0/\mu)^{1/2} ND^3n \\ &= -\frac{9}{\sqrt{15}} \alpha V(\epsilon_0/\mu)^{1/2} n \end{aligned} \quad (4)$$

여기서  $t[\text{s}]$ 는 교반 시간,  $\alpha[-]$ 는 mother

floc과 fine floc간의 평균충돌 · 집합계수,  $V$ 는  $(\pi/6) ND^3$  (floc 형상을 구형으로 가정)이다.

식(4) 중의 각종 변수 값과 mother floc수가 일정하다고 가정하면 fine floc수의 시간적 변화는 식(5)와 같은 접촉응집 반응식으로 간략화 할 수 있다.

$$\frac{dn}{dt} = -Kn \quad (5)$$

단,  $K \approx -\frac{9}{\sqrt{15}} \alpha V(\epsilon_0/\mu)^{1/2}$ 이고,

$K$ 는 난류 교반 조건하의 접촉침전의 속도정수 [ $1/\text{s}$ ]이다.

### 3) 응집제의 화학적 성질

#### a. 황산알루미늄 [aluminum sulfate ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ )]

황산 알루미늄은  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 를 주성분으로 하며, 고형 황산 알루미늄은 수분자의 결정수를 가지므로  $[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}]$ 로 표시된다. 이 결정수의 양은 농축, 건조 정도에 따라 다르며 일반적인 수처리용으로는 18분자의 것이 많이 사용되었으나 (Black & Hannah, 1961; Jeffcoat & Sinyley, 1975), 현재는 액체 황산 알루미늄의 수요가 대부분이다. 황산알루미늄을 가열하면 결정수가 방출되어  $460^\circ\text{C}$ 에서 무수물  $[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3]$ , 비중 2.71로 된다. 더욱 가열하여  $650^\circ\text{C}$  부근에서는 알루미늄에 결합한 아황산가스를 분해 방출하기 시작하여  $850^\circ\text{C}$  부근에서는 열분해가 완료되어 알루미늄( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )로 된다.

#### b. 폴리염화알루미늄 (poly aluminum chloride, PAC)

폴리 염화 알루미늄은 다염기성 염화 알루미늄으로  $[\text{Al}_2(\text{OH})_n\text{Cl}_{6-n}]_m$ 의 일반식으로 표시되며, 수용액에서는 아쿠오착이온  $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]^{+3}$ 를 가지는 배위화합물이므로 OH기를 가교하여 다핵착체가 되어 핵이 증가하

여 거대화되어 무기 고분자화합물을 형성한다.

현재 시판되고 있는 폴리염화알루미늄 (poly aluminum chloride, PAC)은 순수한 폴리염화 알루미늄이 아니고 미리 PAC용액에 가수분해가 되지 않는 범위로 중축합촉진제로서 황산이온을 적당량 혼합, 가열시킨 함황산기 폴리염화알루미늄이다. 따라서 수용액에는 다가양이온을 가지고 중합체 (Polymerized)와 가수분해(Hydrolyzed)되어 있는 다염기성 다가전해질이며 더욱이 다가음이온으로서 황산이온을 함유하는 저중합도 고분자 응집제로 일정한  $SO_4/Al$ 의 몰비를 가지고 있다.

수용액에서는 중축합작용에 의하여 생성되는 착이온 구조를 가지는 염기성 다핵착

체 또는 가교착체로서 염기도, 중합도, 다가음이온물질, 농도, pH, 안정성, 동결성, 점도 등에서 성능이 우수한 고분자화합물의 일종이다. 이들 인자가 정하여지면 각종 이온이 어떤 비율로 존재하여 평형을 이루고 있는 복잡한 조성을 하고 있다.

## 2. 중력침전

### 1) 침전시간별 침전특성

원시료를 침전시킨 후 상등액의 SS 및 BOD<sub>5</sub>의 수질분석 결과는 Table 3과 Table 4에 제시하였으며, 각 수심별 침전시간에 따라 제거되지 않고 남아있는 SS 및 BOD<sub>5</sub>농도와 그때의 제거율로 표시하였다.

Table 3. The SS concentrations at various depths.

Initial SS = 2000mg/L

Item	SS concentration and removal efficiency					
	0.5m		1.0m		1.5m	
Depth	Concentration (mg/L)	Removal efficiency (%)	Concentration (mg/L)	Removal efficiency (%)	Concentration (mg/L)	Removal efficiency (%)
Time (min)						
5	1,595	20.25	1,635	18.25	1,675	16.25
10	1,375	31.25	1,475	26.25	1,555	22.25
15	925	53.75	1,415	29.25	1,505	24.75
20	135	93.25	1,355	32.25	1,445	27.75
30	65	96.75	175	91.25	1,235	38.25

Table 4. The BOD<sub>5</sub> concentrations at various depths.

Initial BOD<sub>5</sub> = 255.4mg/L

Item	BOD <sub>5</sub> concentration and removal efficiency					
	0.5m		1.0m		1.5m	
Depth	Concentration (mg/L)	Removal efficiency (mg/L)	Concentration (mg/L)	Removal efficiency (mg/L)	Concentration (mg/L)	Removal efficiency (mg/L)
Time (min)						
5	221.2	13.4	225.0	11.9	228.6	10.5
10	208.4	18.4	213.0	16.6	221.8	14.9
15	204.1	20.1	208.9	18.2	217.3	16.7
20	199.7	21.8	206.1	19.3	207.6	18.7
30	188.0	26.4	193.6	24.2	200.0	21.7

2) SS 및 BOD<sub>5</sub> 제거율

수리학적체류시간(HRT)에 대한 SS, BOD<sub>5</sub>의 총제거율과 그때의 표면부하율을 산출하기 위하여 Fig. 2와 Fig. 3의 침전 등농도 곡선을 이용하여 식(2)에 적용하였고, 그 결과 값은 Table 5, Table 6 그리고 Fig. 3 ~ Fig. 7에 제시하였다. Fig. 4와 Fig. 5는 Retention time에 따른 SS, BOD<sub>5</sub> 제거효율을 나타내었고, Fig. 6과 Fig. 7은 표면부하율에 따른 SS, BOD<sub>5</sub> 제거효율을 보여준다.

Table 5. The effect of various retention time on overflow rate and SS removal efficiency.

Item	Retention time (min)	Overflow rate (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /day)	SS removal efficiency (%)
SS	9.4	229.8	35.5
	21	102.9	53.7
	30	72.0	75.6

Table 6. The effect of various retention time on overflow rate and BOD<sub>5</sub> removal efficiency.

Item	Retention time (min)	Overflow rate (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /day)	BOD <sub>5</sub> removal efficiency (%)
BOD <sub>5</sub>	11.5	187.8	18.3
	28.5	75.8	23.1

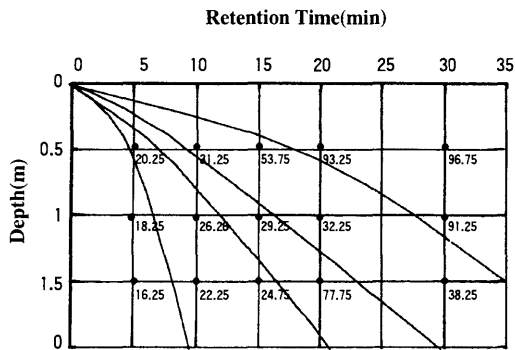


Fig. 2 Settling profile. Percentage number are percentage of SS removed.

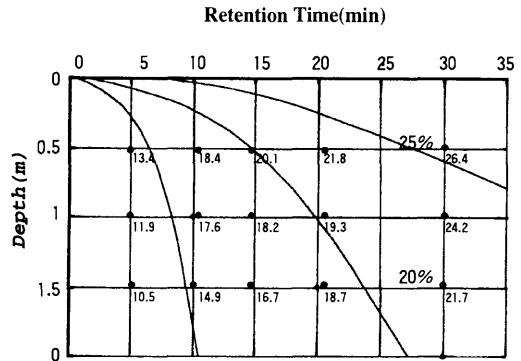


Fig. 3 Settling profile. Percentage number are percentage of BOD<sub>5</sub> removed.

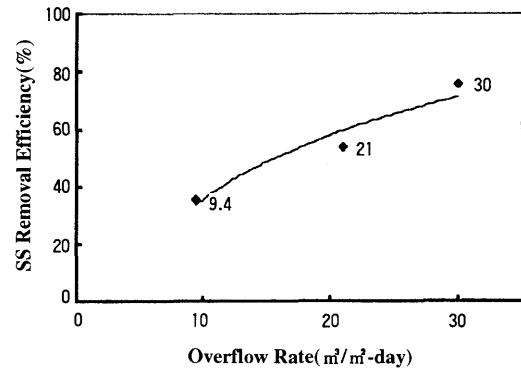


Fig. 4 The effect of various retention time on SS removal efficiency.

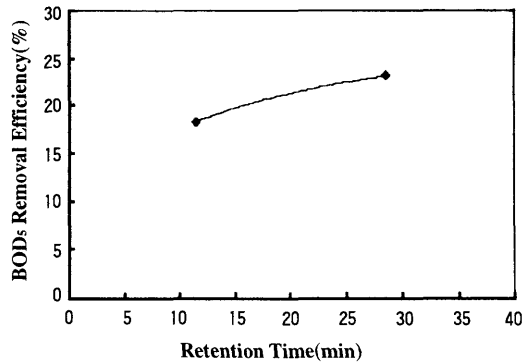


Fig. 5 The effect of various retention time on BOD<sub>5</sub> removal efficiency.

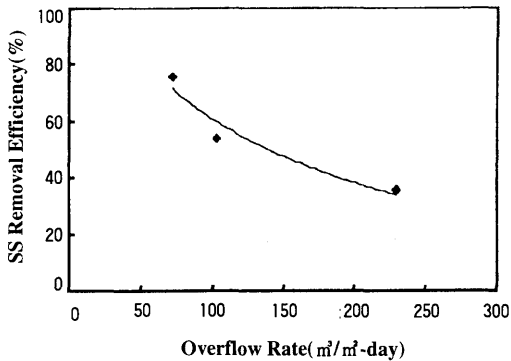


Fig. 6 The effect of various overflow rate on SS removal efficiency.

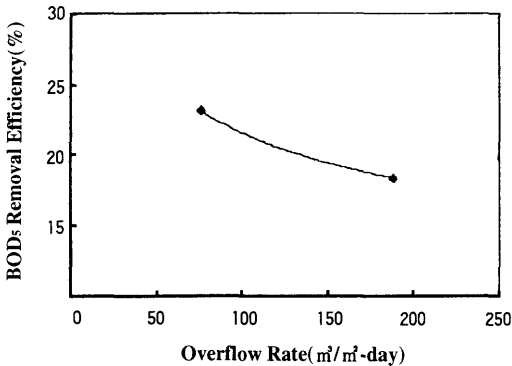


Fig. 7 The effect of various overflow rate on BOD<sub>5</sub> removal efficiency.

수리학적 체류시간에 대한 SS의 총 제거율은 체류시간이 길어짐에 따라 증가하는 것으로 나타났으며, 수리학적 체류시간 30분에서 SS 제거율은 73%로 나타났고, Table 5와 Fig. 4에 각각 제시하였다. 80%이상의 BOD<sub>5</sub> 제거효율을 얻기 위해서는 수리학적 체류시간이 약 41분 이상이 필요하며, 표면부하율은 약 52.7 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/day 이하가 요구되는 것으로 나타났다.

또한, 수리학적 체류시간에 대한 BOD<sub>5</sub>의 총제거율은 상기 SS와 동일한 방법으로 산출하였으며, Table 6과 Fig. 5에 각각 제시

하였고, 24%이상의 BOD<sub>5</sub> 제거효율을 얻기 위해서는 수리학적 체류시간이 약 36.5분 이상이 필요하며, 표면부하율은 약 52.7 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/day 이하가 요구되는 것으로 나타났다.

Fig. 6과 Fig. 7은 표면부하율에 따른 SS와 BOD<sub>5</sub> 제거효율을 도식화한 것이며, 수리학적 체류시간과 표면부하율과의 관계는 Fig. 13에 제시된 바와 같이 체류시간이 증가함에 따라 표면부하율은 감소하는 경향을 보여주었다.

### 3. 약품침전실험

응집효율에 영향을 미치는 인자는 시료의 탁도, 수온, 알칼리도, pH 등 시료자체의 특성과 응집제 투입량, 교반시간 등이나, 이 중에서 시료의 특성인 수온, 알칼리도, pH 등은 응집에 미치는 영향이 크지만 사실상 인위적인 조절이 쉽지 않다. 따라서 인위적으로 조절이 가능한 응집인자는 응집제의 종류, 교반시간 등이 있다.

따라서 본 실험에서는 가장 널리 사용되고 있는 무기응집제의 일종인 황산알루미늄과 고분자 응집제인 PAC를 사용하여 교반시간, pH에 따른 탁도, SS, S-BOD<sub>5</sub>, DOC를 분석하여 최적 응집제 투입량을 결정하였다.

#### 1) 교반시간에 따른 탁도, SS, S-BOD<sub>5</sub>의 제거효율

우유팩을 원료로 이용하여 화장지를 생산하는 제지공장에서 배출되는 원폐수의 pH를 6.0으로 조정하여 시료 500mL에 PAC를 100μL첨가한 후 시간을 1분, 2분, 3분, 5분, 7분, 9분으로 급속 교반(150rpm)시키고, 20분간 완속 교반(50rpm)한 후, 30분간 침전시켜 탁도, SS, S-BOD<sub>5</sub>를 측정하였다. 그리고 pH를 5.8로 조정하여 PAC를 70μL첨가한 후 급속 교반(150rpm)시키고, 시간을 3

분, 5분, 8분, 10분, 15분, 20분, 25분, 30분, 40분으로 완속 교반(50rpm)한 후, 30분간 침전시켜 탁도, SS, S-BOD<sub>5</sub>를 측정하였다.

Fig. 9, Fig. 10, Fig. 11, Fig. 12에서 보는 바와 같이 급속 교반 5분, 완속 교반 25분에서 SS 제거효율이 높게 나타났으며, 탁도 또한 낮게 측정되었다.

이와 같은 실험결과를 종합하여 볼 때 급속 및 완속 교반에 대한 응집시간이 SS 제거효율, 탁도 제거에 중요한 인자인 것으로 사료된다.

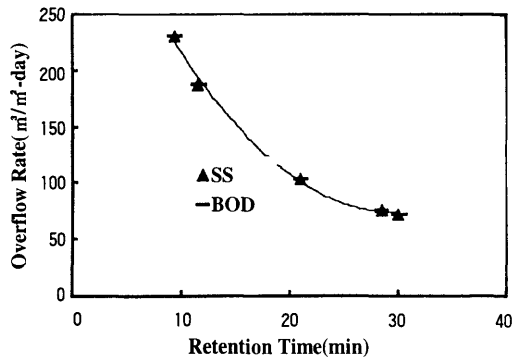


Fig. 8 The effect of various retention time on overflow rate.

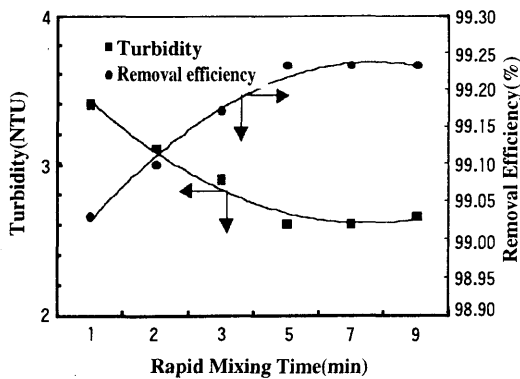


Fig. 9 Effects of various rapid mixing time on SS, turbidity and removal efficiency.

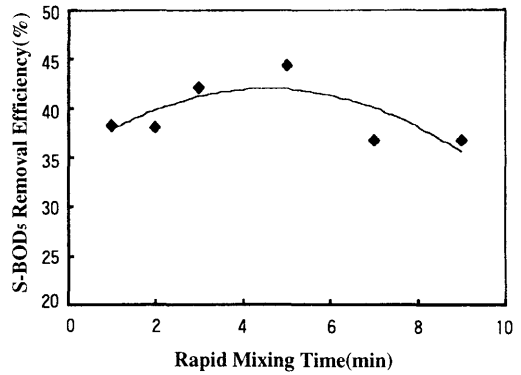


Fig. 10 Effects of various rapid mixing time on S-BOD<sub>5</sub>, turbidity and removal efficiency.

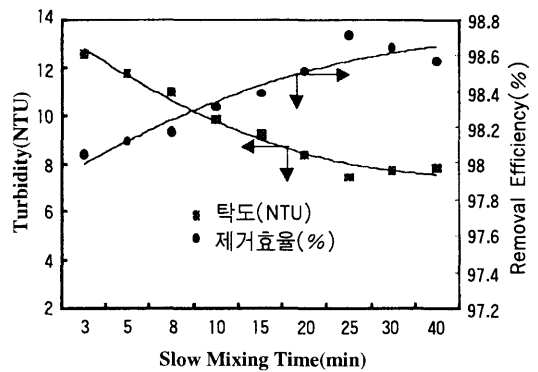


Fig. 11 Effects of various slow mixing time on SS turbidity and removal efficiency.

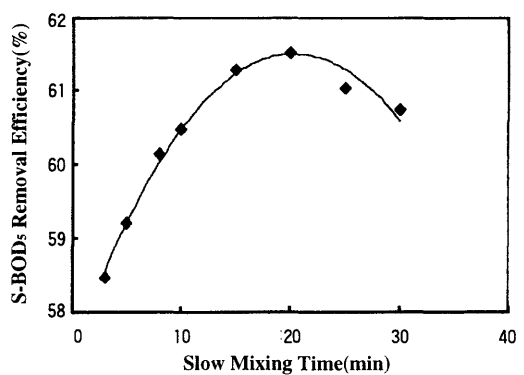


Fig. 12 Effects of various slow mixing time on S-BOD<sub>5</sub> turbidity and removal



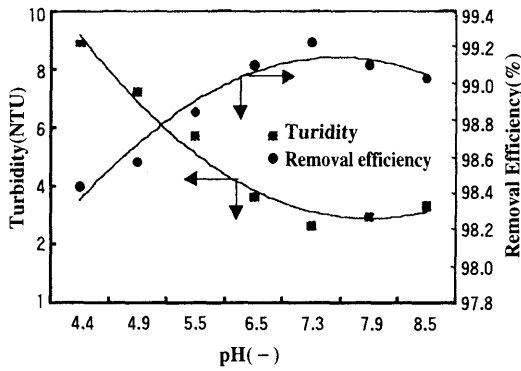


Fig. 13 Effects of various pH on SS, turbidity removal efficiency by the treatment of  $[Al_2(SO_4)_3]$ .

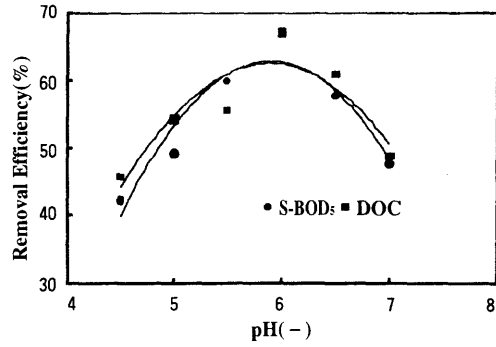


Fig. 16 Effects of various pH on S-BOD<sub>5</sub>, DOC removal efficiency by the treatment of PAC.

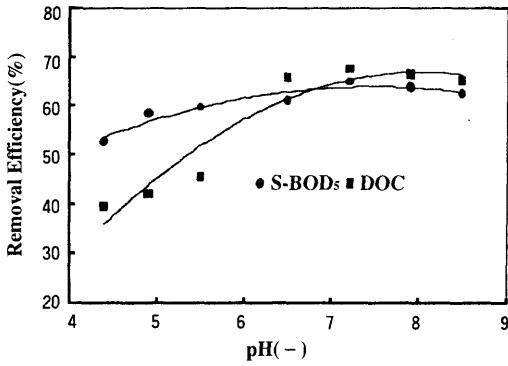


Fig. 14 Effects of various pH on S-BOD<sub>5</sub>, turbidity removal efficiency by the treatment of  $[Al_2(SO_4)_3]$ .

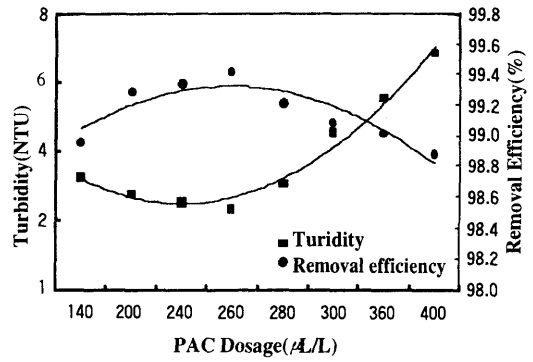


Fig. 17 SS, turbidity removal efficiency versus various PAC dosage.

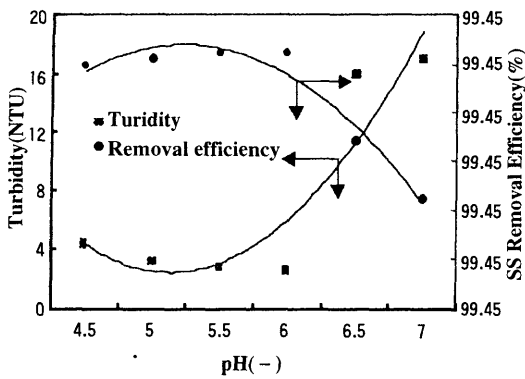


Fig. 15 Effects of various pH on SS, turbidity removal efficiency by the treatment of PAC.

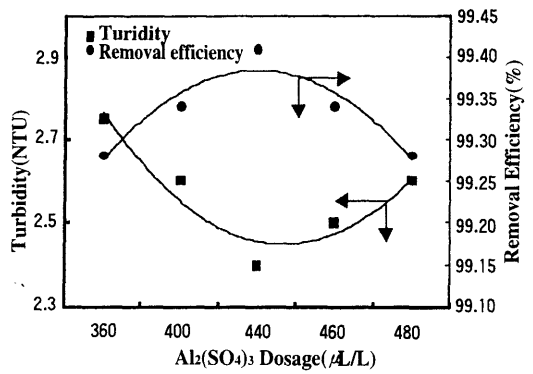


Fig. 18 SS, turbidity removal efficiency versus various  $[Al_2(SO_4)_3]$  dosage.

### 2) pH변화에 따른 탁도, SS, S-BOD<sub>5</sub>의 제거효율

우유팩을 원료로 이용하여 화장지를 생산하는 제지공장에서 배출되는 원폐수의 pH를 4.4~8.5로 조정하면 후 황산알루미늄 200 $\mu$ L를 일정하게 넣어 주고, 급속교반(150rpm) 5분, 완속교반(50rpm) 25분, 30분을 자연침전시킨 후 분석한 결과는 Fig. 18, Fig. 19에서와 같이 pH 7~8사이에서 제거효율이 가장 높게 나타났다. 그리고 pH를 4.4~7.0으로 조정하면 PAC 100 $\mu$ L를 일정하게 넣어 주고, 급속교반(150rpm) 5분, 완속교반(50rpm) 25분, 30분을 자연침전시킨 후 분석한 결과는 Fig. 15, Fig. 16과 같이 pH 5~6사이에서 가장 높은 제거효율을 나타냈다.

응집제의 종류를 달리 했을 경우 pH변화에 따라서 처리효과가 상이한 이유는 pH가 증가하면 양이온( $Al^{+3}$ )이 어느 시점에서  $Al(OH)_3$ 로 형성되는데 이의 적정 pH는 7~8사이라고 보고(Sung & Yu, 1994)된 바 있다.

### 3) 최적응집제량의 결정

원폐수에 pH를 7.5로 조정하면 후 황산알루미늄 180 $\mu$ L, 210 $\mu$ L, 220 $\mu$ L, 230 $\mu$ L, 240 $\mu$ L, 250 $\mu$ L, 그리고 PAC 70 $\mu$ L, 100 $\mu$ L, 110 $\mu$ L, 120 $\mu$ L, 130 $\mu$ L, 140 $\mu$ L, 160 $\mu$ L, 180 $\mu$ L, 220 $\mu$ L를 일정하게 넣어 주고, 급속교반(150rpm) 5분, 완속교반(50rpm) 25분, 30분 자연 침전시킨 후 분석한 결과 Fig. 17, Fig. 18에서와 같이 황산알루미늄 220 $\mu$ L, PAC 120 $\mu$ L를 주입하였을 경우 최적의 조건으로 나타났다.

적정 응집제량을 초과해서 투입했을 때가 적게 투입했을 때 보다 수질이 좋지 않은 상태에 대하여 Michaels은 수용액 속에서 응집제의 농도가 적은 경우 입자표면에 응집제가 흡착하여 입자상호간의 Bridging을 하지만 어느 농도 이상의 고농도에서는 입

자표면들이 고분자응집제로 완전히 다른 입자의 접근을 방해하여 오히려 분산효과를 가져오기 때문이라고 보고된 바 있고, 본 실험에서도 유사한 결과가 얻어졌다.

## IV. 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) 80%이상의 BOD<sub>5</sub> 제거효율을 얻기 위해서는 수리학적 체류시간이 약 41분 이상이 필요하였고, 표면부하율은 약 52.7 $m^3/m^2/day$  이하가 요구되었다.

2) 24%이상의 BOD<sub>5</sub> 제거효율을 얻기 위해서는 수리학적 체류시간이 약 36.5분 이상이 필요하였고, 표면 부하율은 약 52.7 $m^3/m^2/day$  이하가 요구되는 것으로 나타났다.

3) 표면 부하율에 따른 SS와 BOD<sub>5</sub> 제거효율은 체류시간이 증가함에 따라 표면 부하율은 감소하였다.

4) 응집제의 종류에 따른 탁도변화를 알아보기 위하여 약품교반 실험을 한 결과 PAC가 황산알루미늄보다 응집 효과면에서 약간 우수하였다.

5) 응집인자 중 교반시간이 응집효과에 미치는 영향을 분석한 결과 flocc형성시 응집제와의 접촉시간, 접촉강도 등에 영향이 민감한 것으로 사료되며, 일정한 반응시간 즉, 급속 교반시간 5분, 완속 교반시간 25분에서부터는 교반시간이 증가하여도 탁도 제거효율에 미치는 영향이 둔화되었다.

6) pH가 응집제에 미치는 영향은 PAC의 경우는 5.0~6.0사이에서 응집이 잘 이루어졌으며, 황산알루미늄의 경우는 7.0~8.0사이에서 응집효율이 높았다.

참 고 문 헌

1. 환경처. 1988. 한국환경년감. 16 : 848.
2. 환경부. 1995. 환경통계년감. 6 : 584.
3. Benefield, L.D. et al., 1982. Process Chemistry for Water and Wastewater Treatment. Prentice Hall Inc.
4. Black, A.P. & Hannah, S.A., 1961. Electrophoretic Studies of Turbidity Removal By Coagulation with Aluminium Sulfate. Jour AWWA. 53(1)6 : 438.
5. Bratby, J.R., 1981. Optimizing Coagulants and Flocculant Aids for Settling. Jour. AWWA 63(6)6 : 312.
6. Fuchs. N.A., 1964. The Mechanics of Aerosol. Peragmen Press. Oxford. 334pp.
7. Jeffcoat, W.B. & Sinyley J.E., 1975. The Effect of Alum Concentration and Chemical-Addition Times on Coagulation. Jour AWWA 676 : 177
8. Latterman, R.D. et al. 1973. Influence of Rapid-Mix Parameters on Flocculation. Jour. AWWA 64(11)6 : 716
9. Levich, V.G.. 1962. Physicochemical Hydrodynamics. Prentice-Hall. New York. pp213-219.
10. McCabe, W.L. and Smith, J.C., 1985. Unit Operations of Chemical Engineering, 4th ed. McGraw Hill.
11. Sung, IW. & Yu, MJ., 1994. 활성슬러지의 沈降性에 대한 生化學的 影響因子. J. of KSSEE. 16(4)6 : 445-452.
12. Tambo, N. & Hozumi, H., 1979. Physical. Characteristics of Flocs- II. Strength of Floc. Water Res. 136 : 421-427.
13. Tambo, N. & Watanabe, Y., 1979. Physical. Characteristics of Flocs- I. The Floc Density Function and Aluminium Floc. Water Res. 136 : 409-419.