

응집제의 응용기술

김재문/ 서울특별시구의수원지사무소 정수계장

무기응집제의 응집조건

1. 서론

무기응집제는 응집시 주 사용 용도에 따라 응집주제와 응집보조제로 구분한다. 응집주제는 알미늄염(황산알미늄·암모니움·명반·알미늄산염) 철염(황산제일철·염화제이철·황산제이철등), 무기고분자(PAC)등이 있으며 알미늄염중 황산알미늄은 현재 상수도의 응집제로 가장 많이 사용된다. 그 이유는 가격면에서 다른 응집제에 비해 싸고 간단하며 안정하기 때문이다.

또한 철염처럼 시설물을 오염시키지 않는다. 그 반면에 철염에 비하여 플록이 가볍고 pH의 폭이 협소한 점등이다. 원료로는 보키사이트, 고령토, 수산화알미늄, 명반석 등으로 제조한다. 황산알미늄은 16% 고체형과 8% 액체형으로 되어있다. 철염은 주로 하수 및 폐수처리에 많이 사용되며 생성되는 플록은 황산알미늄에 비하여 무겁고 제 1 철염은 pH가 9.0이상에서 플록이 형성되며 제 2 철염은 부식성이 강한 단점이 있다. 무기고분자화합물(PAC)은 플록상태나 부식성에 문제는 없으나 황산알미늄 보다 고가이다. 그러나 고탁도에서는 효과가 매우 양호하다.

응집보조제는 소석회, 가성소다가 사용되는데 소석회는 고체 약품이어서 취급이 불편하나 경도를 상승시키는 효과가 있으며 가성소다는 액체로써 자동제어가 가능하나 물을 연수화 하는 단점이 있다.

2. 무기응집제 응집 조건

무기응집제의 응집조건은 크게 PH, 알카리도,

탁도, 온도, 주입장소에 따라 다르다. 이의 각각에 대해서 기술하겠다.

(1) pH

pH(수소이온농도)치와 알카리도는 서로 관련하여 응집반응을 지배하는 큰 인자이다. 응집반응에는 제각기 응집에 대한 적당한 pH치와 알카리도치가 존재한다. 이것은 응집제의 응집작용이 최대의 효과를 나타나게 하며 플록의 용해도가 최소가 되는점에 pH를 조절하는것이 필요하다. 응집작용을 효과적으로 행하기 위해서는 응집제를 완전히 가수분해시켜 금속 수산화물의 플록을 생성시켜야 한다.

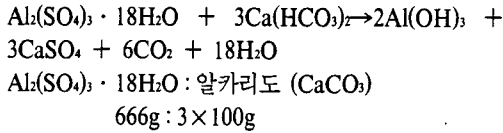
황산알루미늄의 가수분해는 pH의 상승과 함께 증가한다. 적정범위는 pH 5.5~8/5의 범위내에 있어야 한다. 경험상으로 가장 양호한 응집범위는 pH7.2~7.5의 약알칼리 부분에서 잘형성되는 것을 알았다. 만일 pH치가 5.5이하 되거나 8.5이상이면 생성된 수산화 알미늄은 각각 이온 상태로 변하여 다시 용해되어 응집반응을 일으키지 못하게 된다.

(2) 알카리도

응집작용이 효과적으로 행하여 지기 위해서는 응집제를 완전히 가수분해시켜 금속수산화물의 플록을 생성시킬 수 있는데 충분한 알카리도가 수중에 필요하게 된다는 것은 일반적으로 알려진 사실이다. 일반적으로 Al^{+3} , Fe^{+3} 등의 응집제를 첨가하면 알카리도가 반응하여 수산화물이 되고 pH치는 저하하게되나 그때 수중에 충분한 알카리도가 존재하게 되면 완충작용에 의해 pH치의 저하는 급격하게 이루어 지지 않는다. 만일 수중에 알카리도가 너무 많아지면 응집제가 무의미하게 소비되어 비경제적이 된다.

최근에는 공해의 영향으로 산성비가 내리므로, 비가 온후에는 알카리도가 평상시보다 10PPM 이상이 떨어지므로 표류수를 수원으로하는 정수처리장에서는 떨어진 알카리도만큼 보정을 해 주어야 한다.

황산 알미늄 1 PPM을 가하는데 따라 수중의 알카리도(CaCO₃)는 0.45 PPM씩 감소된다.

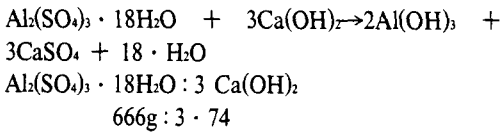


$$1 \text{ PPM} : x \text{ PPM}$$

황산 알미늄 1 PPM을 가하는데 따른 알카리도 감소량은,

$$x = \frac{3 \times 100}{666} \times 1 \text{ PPM} = 0.45 \text{ PPM}$$

따라서 알카리도를 보충하기 위해서는 황산알미늄 1 PPM 당 소석회 [Ca(OH)₂ 90%] 0.36 PPM을 가하여야 한다.



$$1 \text{ PPM} : X \text{ PPM}$$

황산 알미늄 1 PPM을 중화하는데 필요한 Ca(OH)₂의 양은

$$x = \frac{3 \times 74}{666} \times 1 \text{ PPM} = 0.36 \text{ PPM}$$

◎ 수온과 탁도에 따른 약품 조건표

수 양 탁	5℃ 미만			5~10℃ 미만			10~15℃ 미만			15~20℃ 미만			20℃ 이상		
	PAC	고반	액반	PAC	고반	액반	PAC	고반	액반	PAC	고반	액반	PAC	고반	액반
5도	12	15	19	11	15	17	10	13	16	9	11	18	8	11	15
10	14	18	23	13	17	20	12	16	19	11	15	19	10	14	17
15	16	20	28	15	19	22	14	17	21	13	16	21	12	15	19
20	18	21	33	17	21	27	16	19	25	15	18	25	14	17	24
25	19	24	36	18	22	29	17	20	27	16	19	27	15	18	26
30	20	27	39	19	24	33	18	21	30	17	20	30	16	19	27
35	21	29	41	20	26	34	19	22	32	18	21	31	17	21	29
40	22	31	44	22	28	35	20	24	33	19	23	32	18	23	31
45				24	30	37	21	26	35	20	25	34	19	25	33
50				25	31	39	22	29	37	21	27	36	20	26	34
60							24	33	40	23	31	39	22	29	37
70							28	36	43	24	34	41	23	32	39
80							28	28	49	26	36	45	25	35	43
90							31	40	53	27	38	49	27	37	47
100							33	45	58	30	44	53	29	42	52

순도 90%의 소석회를 사용한다면

$$0.33 \times \frac{100}{99} = 0.33 \text{ PPM이 필요 하게 된다.}$$

예를 들어 알카리도 40 PPM의 물에 황산알미늄 40 PPM을 가했을때 알카리도는 40 × 0.45 = 18 PPM감소되어 22 PPM이 되고 알카리도 10 PPM의 물에 황산알미늄을 40 PPM 가한다면 18 - 10 = 8 PPM의 알카리도가 부족하게 될 것이다. 이때, 알카리보조제로서 부족한 알카리도를 보충하려면 소석회 8 × 0.36 / 0.45 = 6.4 PPM을 가하여야 하고, 알카리도를 원수대로 유지하려면 투입된 황산알미늄 40 PPM을 중화하여야 하므로 소석회를 40 × 0.36 = 14.4 PPM 가해야 한다. 무기고분자응집제 (PAC)도 1 PPM 주입시 알카리도가 0.125 PPM 떨어지므로 원수알카리도가 20 PPM 이하시에는 알카리 보조제로 보정해 주어야 한다. 따라서 알카리도와 총산도가 물의 사용목적에 알맞도록 응집제와 보조제의 비율을 결정해야 할 것이다.

(3) 탁도

부유물질의 양과 질이 약품 투입량을 절대적으로 좌우하지만 알카리도가 높거나 수온이 낮을수록 응집제의 투입량은 증가하며 pH에 따라 침전시간, 소요약품등이 달라지기 때문에 전반적으로 수질에 따른 공통적인 약품주입율은 정하기는 곤란하다. 약품주입율을 결정하기 위하여 행하는 시험을 Jar 시험이라 한다. Jar 시험시 교반 조건은 혼화지 교반 상태에 따라 다르나 대개의 경우,

급속 교반 100RPM 2분

완속 교반 50 RPM 3분
정 치 15분으로 한다.

Jar 시험에 있어 위와 같은 교반속도로 교반후 정지해서 생성된 후록크상태를 관찰하여 최양의 것을 선택한다. 그러나 새삼 강조하지만 실제 현장에서는 여러가지 조건이 다르므로 Jar 시험에 의한 결과가 절대적이라고는 할 수 없다. 현재 탁도의 단위는 카오린 탁도, NTU, FTU등으로 구분되어 있으므로 타 자료와 비교시는 반드시 동일한 단위의 탁도가 아니면 보정해야 한다.

(4) 온도

응집제와 반응하는 수온이 낮은 경우 플록의 성장이 느리므로 상온을 유지해 주어야 바람직 하지만 대단위 물을 처리한 경우는 저온시에는 상온시에 비해 응집제의 주입율을 더 많이 해야 한다. 참고로 서울의 'G'정수장의 약품투입 조건표는 아래와 같다. 이 조건표도 수질은 계속 변화함으로 참고용으로 활용하면 좋겠다.

(5) 주입 장소

응집제는 혼화지의 입구나 급속혼화하는 장소에 주입하여야 하고 알카리제는 응집제의 상류쪽에 주입하며 다른 보조제는 실험에 의해 결정한다. 응집제와 알카리보조제를 병용하였을 때 알카리보조제의 질, 첨가량, 첨가 시기를 변화시켜 실험한 결과, 알카리 보조제 첨가량이 비교적 적량일 경우에 응집제 주입전에 주입 하였을 때가 동시 주입 또는 후 주입보다 훨씬 그 효과가 좋은 것으로 나타났으며, 알카리 보조제첨가량이 과잉이었을 경우에도 마찬가지로 알카리 보조제를 먼저 가했을 때가 최대의 효과를 나타냈고, 그 효과가 가장 악화되었은 응집제 주입후 부터 1~2분후에 첨가할 때로 나타났으며 그 후 첨가 시기가 지연 될수록 악화도는 감소하는 경향을 나타냈다.

II 유기 응집제의 응용기술

1. 서 론

유기 고분자 응집제는 전분이나 아교와 같은 천연 수용성 고분자가 응집효과를 나타낸다는 것을 오랜 전부터 알고 있었으나 응집제로서 본격적인 연구는 1955년 경에 알긴산 소다가 상수도 정수용에 효과가 있다고 보고된후 1년뒤에 정수용에 처음 사용함으로써 유기고분자응집제를 공업적으로 사용한 최초이다.

현재 주로 사용되는 아크릴 아마이드 계의 유기 고분자는 Dow 케미칼에서 개발하여 광산의 고액분리에서 크게 호평을 받은 이후다. 그 이후로

유기고분자 하머, 아크릴아마이드계가 이용되고 있으나 잔존 모노머가 발암성이므로 정수처리보다는 상·하수 슬러지 처리나 산업 폐수에 주로 활용된다.

사용량은 무기계 응집제에 비하여 1/30~1/100 정도 적게 사용된다.

유기 고분자 발달은 두가지 측면에서 고찰할수 있는데 첫째는 환경적인 오락관계와 둘째는 폐기물 처분과 밀접한 관계가 있다.

- 첫째: 환경적인 오락은 산업의 발달로 도시화가 확대 되면서 하천과 강은 각종 산업폐수 및 생활 하수로 오염될뿐만 아니라 각 정수처리장에서 정수처리시 발생하는 침전슬러지와 여과지 역세척시의 세정슬러지가 처리되지 않은채 방류되므로, 하천이나 강의 수질에 영향을 미쳤다. 이의 제거를 위해 배출수 슬러지 처리시설을 설치하게되고 고농도의 탁질에 잘 적응하는 유기고분자를 개발하게 되었다.
- 둘째: 각종 산업폐수나 하수처리시 최종산물인 케익을 처분시, 매립하거나, 농지에 환원, 또는 토지 개량제로 활용하였으나, 도시가 점차 확대됨에 따라 도심근방에 매립지는 부족하고, 처분 운반거리는 점차 멀어져만 갔다. 이의 해결을 위해, 케익을 감량할수 있는 소각 방법이 개발되어, 종래의 무기물약품에서 연소가 가능한 유기계 약품의 개발이 필연적이 됐다.

2. 유기 고분자 응집제의 제반 특성

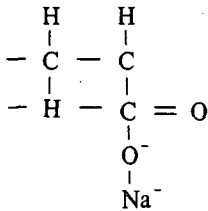
(1) 유기 고분자 응집제의 종류

유기 고분자 응집제는 분자량 1,000이상의 고분자로서 강력한 흡착 관능기를 가지는 화합물이다. 폴리아크릴 아마이드계 유기 고분자 응집제는 청정, 농축, 여과에 쓰이는 수인성 선상 고분자 이다. 이러한 관능기는 현탁물질의 표면에서 높은 친화력을 가져 그 표면에 유기 고분자 응집제의 분자를 확고하게 흡착시켜 주는 역할을 한다.

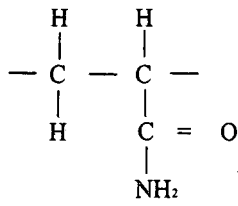
즉, 슬러지는 친화력이 매우 강하여 기계적으로 탈수하기 곤란하므로 탈수의 전처리로서 유기고분자 응집제를 첨가하여 물리·화학적으로 변화시켜 탈수가 용이 하도록 한다. 유기 고분자 응집제의 종류는 음이온계, 비이온계, 양이온계로 구분된다.

가. 음이온계(ANIONIC)

ACRYL 산계

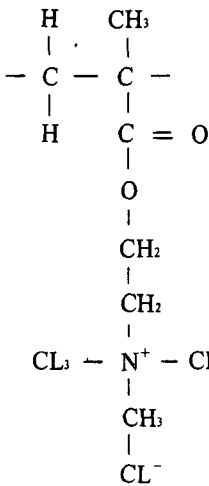


나. 비이온계 (NONIONIC)

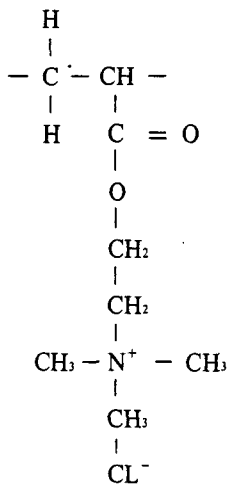


다. 양이온계 (CATIONIC)

META ACRYLATE 계



ACRYLATE 계



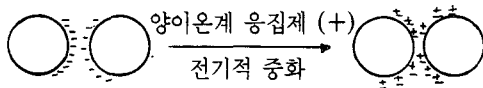
(2) 유기고분자 응집제의 특성 및 작용기구

가. 유기고분자 응집제의 특성

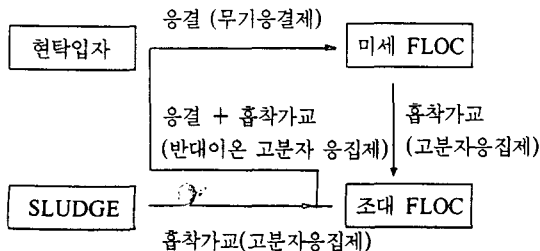
- 현탁물의 침강 또는 부상 촉진
- 폐수의 청정화
- 오니의 여과 탈수율의 향상
- 오니의 감량화 및 가연성

나. 유기고분자 응집제의 작용기구

- 입자 결합 작용



• 흡착 가교 작용



(3) 유기고분자 응집제의 분류

가. 양이온계

GRADE	이온성 (meq/g)	유효적용 pH
약 CATION	1.5 이하	산성 - 약알칼리성
중 CATION	1.5~3.0	
강 CATION	3.0 이상	

나. 음이온계

GRADE	이온성 (meq/g)	유효적용 pH
약 ANION	-1.5 이하	산성-중성
중 ANION	-3.5~-1.5	약산성-약알칼리성
강 ANION	-3.5 이상	중성-알칼리성

다. 비이온성

GRADE	이온성 (meq/g)	유효적용 pH
NONION	-0.5~0.5	산성-중성

3. 오니의 탈수

하수에서는 1차 처리에서 나오는 생오니 및 2차 처리에서 나오는 잉여오니를 감량화 하여 처분하기 위하여 탈수조작을 행한다. 이러한 오니는 현탁입자와 결합수가 물리적, 화학적으로 수화결합이 되어 있기 때문에 이러한 결합수를 유리수로 해리하는 과정이 탈수공정이다.

(1) 오니의 탈수

대분류	소분류	분야	응집제TYPE	탈수기TYPE
무기계	점토계	토목, 건축	ANION	SCREW PRESS
		상수, 용수		FILTER PRESS BELT PRESS
오니	금속 (금속수산화물)	철강, 비철금속	ANION	FILTER PRESS BELT PRESS
		생오니	중 CATION	진공 탈수기
하수-잉여오니	중, 고 CATION	오니		
소화오니	중, 고 CATION			
오니	잉여오니	중 CATION	ANION	SCREW PRESS
	분뇨-소화오니	중, 고 CATION		
	-3차처리오니	ANION	FILTER PRESS BELT PRESS	
	기타산업의 잉여오니	화학, 식품 제지, 피혁 염색, 전자		중 CATION
유기계오니	초지오니	제지	A/Non ION	

(2) 오니 탈수율을 향상시키는 요인

가. SS(고형분) 비중의 상승

- 유기오니/무기오니 비율감소

나. 오니 기공을 감소

- 계면 전위의 증가
- 오니의 습식 조립화
- 고분자 응집제 가교부분의 수축화

다. 내부 보유수의 감소

- 활성오니 세포막의 가열파괴

라. 오니 —응집제 간의 수소결합 저감

- 오니의 소수성 성분 계면흡착
- 고분자 응집제의 부분소수화
- 오니의 ION 해리성 억제

마. 기계적 탈수에 대한 플록 강도 증강

- 고분자 응집제에 의한 가교
- 소수성 섬유질의 혼합

바. 회합수의 파괴

(H₂O)_n n: 2~6의 회합수는 탈수가 어렵다. 회합수에 유효한 이온을 투입.

(3) 오니의 탈수성에 영향을 미치는 인자

가. 물리적 성질

A. 오니 입자경의 분포

입자가 작고 모세관 압력이 크면 탈수성이 악화되며 입경이 작고 비표면적이 크면 동수저항이 크게 되기 때문에 고분자 응집제의 사용량도 증가한다.

B. 오니입자 형상과 경도

입자의 형상이 구에 가깝거나 경도가 높아서 변형이 어려운 공극율이 높을 때에는 탈수가 어렵다.

C. 오니액의 점성과 표면장력

여액의 점성이 높고 여과속도가 저하될때 탈수가 어렵다. 표면장력이 높고 모세관 압력이 클경우 여과성은 저하된다.

D. 오니의 고형물 농도

오니의 농도가 높으면 탈수가 용이하다. (농축이 용이한 오니는 공극율이 감소되어 탈수가 용이)

나. 물리 화학적 성질

A. 오니 입자의 계면전위 (Zeta 전위)

- 일반적으로 오니의 계면전위는 (-)Charge를 갖고 있으나 그 전위가 크게 되면 Colloid가 화학적으로 안정되기 때문에 탈수가 어렵다.
- 계면전위는 오니의 Aeration, pH, 용액중의 전해질의 상태에 따라 변한다.

B. 오니계면의 친수성, 소수성

- 오니계면의 친수성, 소수성은 표면 부착수에 영향을 미치며 이에 따라 탈수성이 변한다. 친수성 관능기 (-SO₃⁻, -COO⁻, -N⁺, -CH₂⁻,

-CONH₂)가 있는 것은 탈수가 곤란하다.

다. 화학적 성질

A. 유기성분

일반적으로 유기성분이 많은 오니는 탈수가 어렵다. 이것은 오니의 고형분 비중이 낮기 때문에 동일 공극율에서 함수율이 상대적으로 높기 때문이다.

유기오니에는 내부보유수가 함유되어 있으며 오니계면에 친수성 관능기가 많이 함유되어 있기 때문에 탈수에 크게 영향을 미치고 있다. 잉여 오니는 소화오니에 비하여 유기물 농도가 높으며 분뇨는 하수오니에 비해 유기물이 많아 탈수가 어렵다.

B. 무기성분

무기고형분 비율이 높은 오니는 탈수가 용이하며 Cake의 함수율도 저하된다.

C. 점질물

다당류, 단백질이 주성분으로 구성되어 있으며, 오니내부에 보유수가 다량 함유되어 있으며 계면에 친수성 관능기가 많이 존재하고 있고 점성이 있기 때문에 탈수가 매우 어렵다.

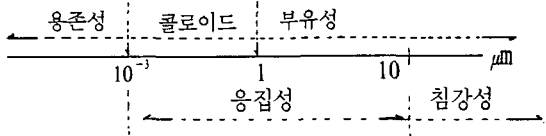
D. 섬유분

섬유 성분이 많으며 여과성이 높아지며 플록 강도가 증대되어 탈수성이 좋아진다. 분뇨의 소화 오니는 섬유상의 고형분이 많아 여과성에 양호하다.

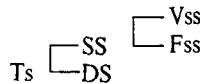
E. 수용성 무기 전해질

오니의 계면전위, 고분자 응집제의 이온해리, 결합수 등에 영향을 미치며 탈수성에서 여러가지 Factor로 작용한다.

※ 입자의 분류

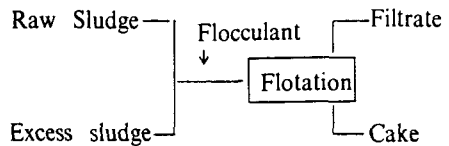


※ 고형물의 분류



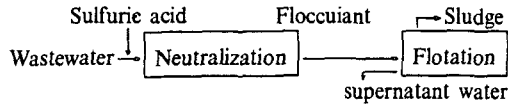
4. 산업폐수 및 하수에 적용 사례

(1) 하수



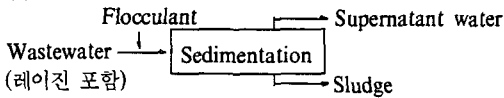
처 리 전	처 리 중	처 리 후
SS : 25,000 PPM pH : 7.0	Filter : 원상여과 Polymer Cation 0.7%	함수율 : 80% SS제거율 : 98%

(2) 유지류 폐수



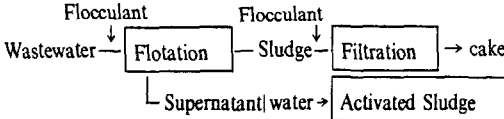
처 리 전	처 리 중	처 리 후
SS : 360 PPM OIL : 130 PPM	Aluminum Sulfate 210PPM Lime 100PPM Polymer Anion 2.0PPM	SS : 10PPM 이하 OIL : 5PPM 이하

(3) 페인트 폐수



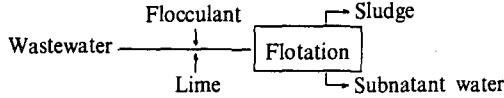
처 리 전	처 리 중	처 리 후
COD : 100 PPM pH : 7.1 SS : 55 PPM	Aluminum Sulfate 3.5PPM Lime : 300PPM Polymer Anion 1PPM	COD : 10PPM 이하 pH : 6.9 SS : 10PPM 이하

(4) 식품 폐수



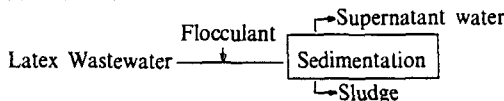
처 리 전	처 리 중	처 리 후
BOD : 1500 PPM SS : 1200 PPM	Aluminum Sulfate 60PPM Polymer Anion 2.5PPM	BOD : 480PPM SS : 20PPM이하

(5) 염색 폐수



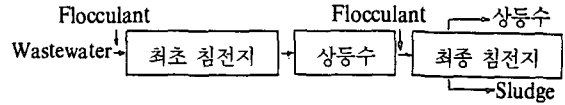
처 리 전	처 리 중	처 리 후
BOD : 180 PPM COD : 110 PPM SS : 46 PPM pH : 7.6	Aluminum Sulfate 300PPM Polymer Anion 2PPM	BOD : 50 PPM COD : 30 PPM SS : 10 PPM pH : 0.5

(6) 고무 폐수



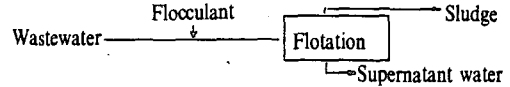
처 리 전	처 리 중	처 리 후
COD : 750 PPM SS : 400 PPM	Aluminum Sulfate 300PPM Polymer 1.5PPM	COD : 50 PPM SS : 10 PPM이하

(7) 양모 폐수



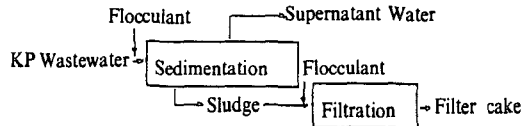
처 리 전	처 리 중	처 리 후
COD : 2.780 PPM N-Hexans : 10.800 PPM SS : 19.500 PPM pH : 8.2	(최초 침전지) PAC : 3.300 PPM Polymer cation 240PPM (최종 침전지) Polymer Nonion 30PPM	COD : 80 PPM N-Hexans : 35PPM SS : 60 PPM pH : 7.5

(8) 인쇄 폐수



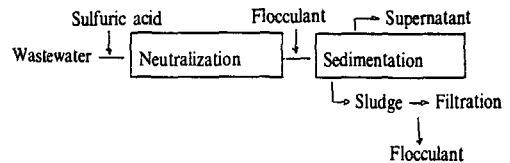
처 리 전	처 리 중	처 리 후
COD : 2500-3000PPM SS : 2400 PPM pH : 8-9	Aluminum Sulfate 100PPM Polymer Anion 5PPM Polymer Cation 250PPM	COD : 420 PPM SS : 20 PPM이하 pH : 6-7

(9) 펄프 폐수



처 리 전	처 리 중	처 리 후
COD : 260PPM SS : 203 PPM pH : 6.3	(침전) Aluminum Sulfate 200PPM Polymer Anion 0.6PPM	COD : 70 PPM SS : 5 PPM이내 pH : 6.2
SS : 22,000PPM	(여과) Polymer Anion 0.6PPM	SS : 18 PPM

(10) 알루미늄 폐수



처 리 전	처 리 중	처 리 후
Al(OH) ₃ : 1000 PPM	(침전) Polymer Anion 2 PPM	SS : 10 PPM이내
Sludge	(여과) Polymer Anion 80 PPM	SS : 5 PPM 이하