

# 제지폐수의 재활용에 따른 여과기술<상>



조준형(趙駿衡)

- 강원대학교 산림과학대학 제지공학과 교수, 공학박사
- 57년 경북포항 출생, 중앙대 화학공학과 졸, 일본 나고야대학 공학부 화학공학과(석·박사)
  - (정) 일본 나고야대학 공학연구과 연구생  
미국 위스콘신대학 및 미국 농무성 산하 국립임산물연구소 방문 연구 교수, 생산기술연구원 평가위원
  - 강원대학교 부설 청강제지연구소장, 세계여과학회 조직운영위원
  - (현) 한국펄프·제지공학회 상임이사  
한국목재공학회이사  
산업자원부기술평가기위원  
강원대학교 학생처 부처장
  - (상훈) 미국 농무성 공로상(1997. Filtration System)

## 목 차

### 제1장 서론

### 제2장 여과메카니즘에 대해

- 2-1 수송단계
- 2-2 부착단계

### 제3장 최근의 여과기술에 대해

### 제4장 제지폐수여과의 기본적 방법

### 제5장 제지공장에 따른 실험여

- 5-1 실험장치
- 5-2 여재구성
- 5-3 A공장(티슈페이퍼)
- 5-4 B공장(상질지)
- 5-5 C공장(상질지)
- 5-6 D공장(상질지+이트지)
- 5-7 E공장(백상지+상질지)
- 5-8 역세방법의 검토결과
- 5-9 SS보족량과 보족된 SS의 걸보기 밀도에 대해

### 제6장 결론

## 제1장 서론

제지펄프공업은 전형적인 용수형산업으로, 용수는 제지펄프공업에 있어 원목과 더불어 매우 중요한 자원이다. 그러나 최근에는 산업의 발전, 생활수준의 향상에 따른 물의 수요량이 급속히 증가함에 따라 공업용수가 부족하여 제지펄프공업에 있어서도 용수절감이 커다란 문제로 대두되고 있다. 용수절감의 하나의 방법으로 현재 각 제지펄프공장에서는 폐수의 재이용이 추진되고 있다. 각 공정으로부터 폐수중에는 섬유, 백색도가 높은 광물질의 부유물(이하 SS로 표기)이 대부분으로 용해성유기물이 적고 착색도가 낮기 때문에 침전처리에 의해 공업용수로서 재이용이 가능하였다. 그러나, 사용목적에 따라 단지 응집침전처리에 의해서는 만족시킬 수가 없기 때문에 대부분의 공장에서는 새로운 여과법을 수용하기에 이르렀다. 따라서 본 논문에서는 각 지중생산에 따른 제지폐수의 여과실험예를 기초로하여 서술하고자 한다.

## 제2장 여과메카니즘에 대해

여재여과(이하 여과로 표기)에 있어서는 수중에 현탁되어있는 미세한 SS입자가 매우 큰 여재입자사이에 보족되어진다. 이같은 SS입자의 여재층내에 의한 보족메카니즘에 대해서는, 1) SS입자의 여재표면에 수송, 2) SS입자의 여재표면에 부착의 2단계로 분류했다. 표 1은 여과메카니즘에 따른 주요인자를 수송단계와 부착단계로 분류하여 나타내었다. 수송단계에서의 주요인자는 물질이동에 관련한 물리적·유체역학적인 인자가 지배적이며, 부착단계에서는 물리적·화학적 특히, 계면화학적인자가 지배적이다.

표 1 여과기구

수송 단계 인자	1. 체 분리 작용
	2. 브라운 운동
	3. 관성력
	4. 침전
	5. 수력학적 작용
	6. 접촉효과
부착 단계 인자	1. 기계적 작용
	2. 전기이중층 상호작용
	3. 반데아 발스 운동
	4. 상호흡착

### 2-1 수송단계

수송단계에서는 수중의 SS입자는 정도차에 의해 표 1 안에 있는 여러인자에 거의 지배되고 있으며 그것들의 상대적인 중요성은 액의 유동상태, 여재층내 간극형상, SS성상에 의존하고 있다.

### 2-2 부착단계

부착단계는 수송과정에 의해 여재표면에 도달한 경우, SS입자와 여재표면의 성상이 부착조건을 만족시키면 SS입자는 여재층내에서 보족된다. 표 1중의 4개의 부착메카니즘중에 가장 유력한 것은 여재표면에 SS부착, 다시말해 부착한 SS에 새로이 유입한 SS가 부착하는 상호부착작용이라 생각 할 수 있다.

## 제3장 최근의 여과기술에 대해

종래 모든 여과장치는 원수중의 SS를 여재층내에서 보족하는 여과과정과 보족한 SS를 밖으로 내보내어 여재를 청정하게하는 세정공정을 하나의 탱크내에서 행하는 회분프로세스이다. 회분프로세스에서는 세정공정중은 여과공정이 중지하기 때문에 여재층은 SS보족기능외에 SS 잔류기능을 충분히 갖고 있을 필요가 있으며, 상향류 여과 및 다층여과는 여재층의 잔류기능을 크게하기위한 여과법이다. 그러나 최근 여과공정과 세정공정을 분리하여 같은

그러나 최근 여과공정과 세정공정을 분리하여 같은 여과조 또는 각각의 여과조에서 연속적 공정을 행하기 위한 여과프로세스가 개발되어 여과기술로서 연속여과방법으로 전환되고 있다. 이와같은 여과프로세스에서는 여과공정과 세정공정이 행해지기 때문에 SS의 잔류기능은 중요한 요소는 아니다. 따라서 SS의 부하변동에 대응가능하고 고부하의 원수에도 적용가능한 잇점이 있다.

여과조 또는 각각의 여과조에서 연속적 공정을 행하기 위한 여과프로세스가 개발되어 여과기술로서 연속여과방법으로 전환되고 있다. 이와같은 여과프로세스에서는 여과공정과 세정공정이 행해지기 때문에 SS의 잔류기능은 중요한 요소는 아니다. 따라서 SS의 부하변동에 대응가능하고 고부하의 원수에도 적용가능한 잇점이 있다. 그러나 연속여과프로세스는 여재가 이동하기 때문에 여과수의 수질이 안정되지않고 고도의 처리수를 필요로 하는 경우에는 적합하지않은 단점이 있다. 이같은 연속여과프로세스에도 여과수의 용도에 따라 적합, 부적합인 경우가 있다.

## 제4장 제지폐수 여과의 기본적 방법

여과에 있어서 물을 큰입자 여재층에서 미세입자 여재층에 대해 흐르는 것이 여재층전체를 유효하게 이용 가능함으로 여재저항 상승이 늦어지며 여과지속시간도 길어지게 할 수 있다.

이같은 방법으로부터 최근의 하향류 여과에 있어서는 앤스라사이트·모래의 이중층여과 및 앤스라사이트·모래·망사의 3중층여과가 주력이다. 이같은 다층여과에서는 비교적 작은 SS는 하층의 미세입자층에서 보족되어지므로 여과시간의 연장과 함께 SS보족량의 증대가 가능하게된다. 그러나 3중층여과는 망이 매우 세밀하기 때문에

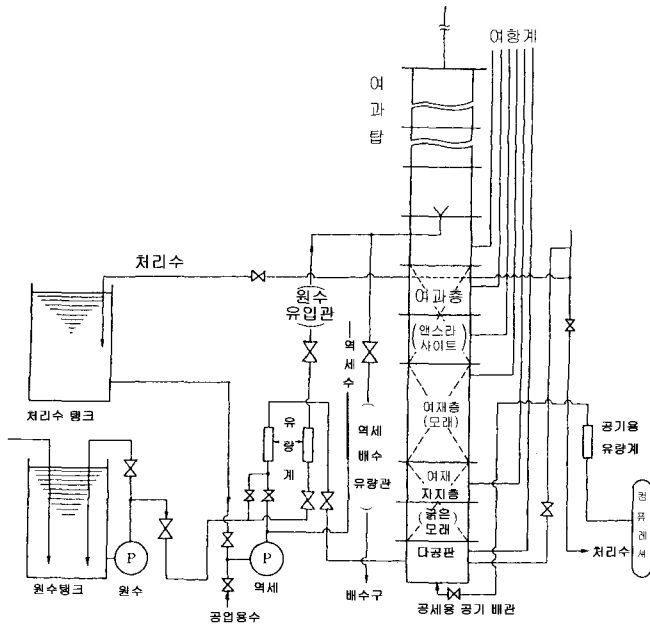


그림 1 실험장치

공기세정시에 모래층과의 섞임현상에 따라 트러블 발생이 일어나기 쉽다.

여과수질은 이중층 여과와 거의 차가 없으며 공기세정을 필요로 하는 제지폐수여과에 있어서는 이중층여과로 충분하다고 사료된다. 제지폐수에 포함되어있는 SS는 섬유와 Clay · Talc · TiO<sub>2</sub> · CaCO<sub>3</sub> 등의 광물질로 구성되어 있다.

제지공정중에서 사용되는 광물질은 미립자가 많으며 또한 펄프 및 재생지의 용해를 위해 공정에서 사용되는 황산 알루미늄만으로는 광물질의 미립자를 완전하게 응집시키지 못하므로 광물입자는 미립자 여재층에서 보족되는 경향이 있다. 한편 섬유는 여재표층부에서 보족되기 쉬우며 표층여과가 되기쉬운 SS에 있다고 말할 수 있다.

따라서 제지폐수용 여과장치를 설계하는데 있어서,

- 1) 표층여과가 일어나지 않는 여재구성
- 2) 처리수질이 안정하고 여과지속시간을 길게함
- 3) 머드볼 등에 의한 여재오염이 없을 것

4) 항상 오염이 없는 여재층을 재현 가능한 역세기구를 갖을 것 등에 유의할 필요가 있다.

## 제5장 제지공장에 따른 실험에

### 5-1 실험장치

제지폐수의 여과실험에 사용한 실험장치의 사양을 다음에 표시하였다.

- 1) 규격 : 길이 160mm × 높이 3,000mm
- 2) 재질 : 투명염화비닐
- 3) 여과면적 : 0.02m<sup>2</sup>
- 4) 여재구성 : 모래와 앤스라사이트의 이중층

### 5-2 여재구성

지질 및 제조방법이 각공장에 의해 다소 차이가 있기 때문에 제지폐수도 여러가지이다. 따라서 각 공장의 제지폐수의 여과에 적합한 여재구성도 다르다. 각 제지공장에 있어서 다른 여재구성에 대한 실험을 행하였으며 표2에 각 공장의 제지폐수 여과에 사용한 여재구성의 대표 예를 나타내었다. 이하의 각 제지공장에 따른 실험결과는 표2에 표시한 여재구성에 의한 것만을 설명한다.

### 5-3 A공장(티슈페이퍼)

표 3 A공장 여과실험결과

여과 속도 (m/h)	여과 시간 (h)	SS(mg/l)		손실수두 (mm-Aq)		BOD(mg/l)		COD <sub>Mn</sub> (mg/l)	
		원수 (평균)	여과수 (평균)	초기	최종	원수 (평균)	여과수 (평균)	원수 (평균)	여과수 (평균)
8	12.0	7.0	0.4	160	1,405	2.7	1.3	13.5	10.3
8	11.0	7.0	0.6	270	1,795	2.7	1.8	16.5	11.7
8	10.5	8.0	1.0	330	1,795	6.0	4.5	14.9	13.4
8	11.0	8.5	1.1	380	1,795	6.3	4.2	16.1	13.2
8	10.0	10.0	1.3	385	1,795	20.0	11.6	30.5	26.2

표 4 B공장 여과실험결과

여과 속도 (m/h)	여과 시간 (h)	SS(mg/l)		도달손실수두 (mm-Aq)	비고
		원수(평균)	여과수(평균)		
15	24	2.6	0.5	483	
15	24	8.2	3.8	891	TiO <sub>2</sub>
20	24	3.9	0.6	402	
15	24	2.6	0.5	1,003	
15	24	8.2	3.4	1,370	TiO <sub>2</sub>
20	24	3.9	0.5	527	

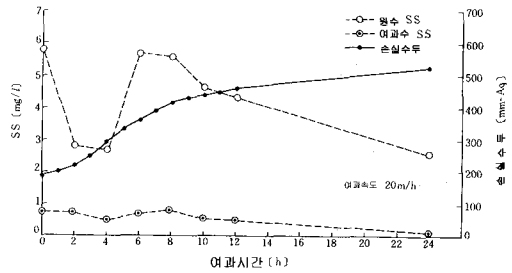


그림 2 B공장실험결과

(1) 원수 종류

여과원수는 티슈페이퍼의 제지폐수를 생물처리를 한후 최종침전처리수로 pH는 중성,SS는 7~10 mg/l 이다.

(2) 실험결과

A공장에 따른 실험결과를 표3에 나타내었다. 원수역세를 행한 결과로 앤스라사이트층내에 머드볼의 발생이 보이며 표3에 나타낸 것과 같이 실험회수에 따라 초기손실수두의 증가가 보여진다. 따라서 1,800mm-Aq를 최종손실수두로 하였을 때 제1회째의 실험에서는 여과지속시간이 12시간이상도 가능하였으나 제2회째 이후에는 점차로 여과지속시간이 짧아지는 경향이 보여진다. 여과수질에 대해서는 표3에서 알 수 있듯이 원수 SS가 8mg/l 이하이면 여과수 SS를 1mg/l 이하로 할 수가 있다.

5-4 B공장(상질지)

(1) 원수종류

제지폐수의 침전탱크 처리수에서 pH4.3~4.8과 약산성,SS는 3~8mg/l 이다.

(2) 처리목표

여과수 SS를 1mg/l 이하,여과지속시간을 24시간으로 한다.

(3) 실험결과

표4에 B공장에 의한 여과실험결과를 나타내었다. 표4에 나타낸 것과 같이 평균입경 0.2µm 이산화티탄을 함유한 제지폐수이외는 여과수 SS 1mg/l 이하의 처리목표를 만족시키며, 또한 여과속도 15m/h,20m/h에서도 24시간 이상의 지속이 가능하다.

그림 2에 실험결과와 대표예를 표시하였다.

5-5 C공장(상질지)

(1) 원수의 종류

① 저농도 SS폐수

pH4.3~4.6, SS 20mg/l 의 제지폐수

② 고 농도 SS폐수

pH4.2~4.4, SS 20~70 mg/l 의 제지폐수

(2) 처리목표

여과수 SS를 5 mg/l 이하, 여과지속시간을 12시간 이상으로 함.

(3) 실험결과

1) 저농도 SS폐수

표5에 나타낸 것과 같이 최대 25m/h의 여과속도에 있어 여과수 SS는 1mg/l 으로, 여과수 SS 5mg/l 이하 처리목표를 충분히 만족시키고 있다. 최종손실수두를 2,500mm-Aq인 경우 여과속도 15m/h에서 33시간,여과속도 25m/h에서도 12시간 이상의 여과지속은 충분히 가능하다.

표 5 C공장 여과실험결과

원수종류	여과 속도 (m/h)	여과 시간 (h)	SS(mg/l)		도달손실수두 (mm-Aq)	비고
			원수 (평균)	여과수 (평균)		
저농도 SS폐수	20	12	21.9	0.6	1,080	
	25	12	19.4	1.0	1,130	
	15	24	19.4	0.6	2,163	
	15	33	21.9	1.2	2,243	
	15	12	19.3	2.3	270	
고농도 SS폐수	15	12	61.2	10.6	359	TiO <sub>2</sub> 함유
	15	12	73.4	6.3	651	

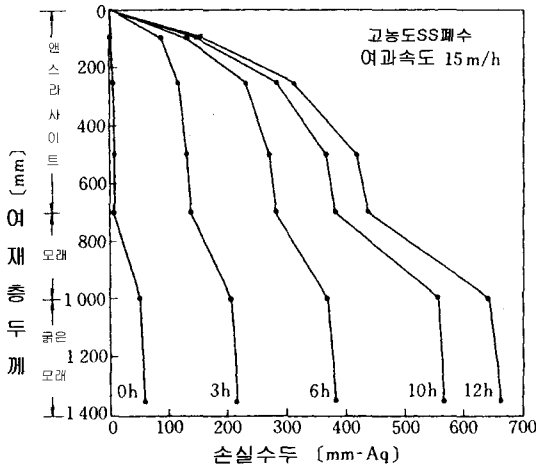


그림 3 손실수두의 여재층내분포(C공장)

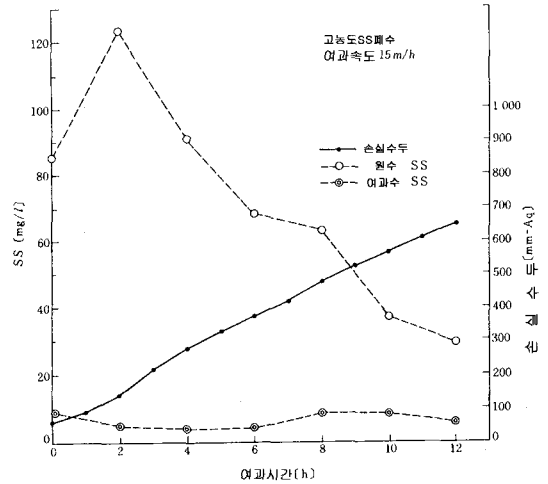


그림 5 C공장실험결과(2)

2)고농도 SS폐수

표5에 나타난 것과 같이 미립자 이산화티탄을 함유한 제지폐수의 경우를 제외하고는 SS보족량이 9kg-SS/m<sup>3</sup>-여재 이내에서는 처리목표 여과수 SS 5mg/l 이하를 만족시키고 있다. 원수SS가 고농도인 경우는 섬유함유량이 적으며, 그림3에서 알 수 있듯이 SS가 여재층전체에 보족되어 있기 때문에 손실수두의 증가가 매우 느리다. 실험결과와 대표예를 그림4,5에 나타내었다.

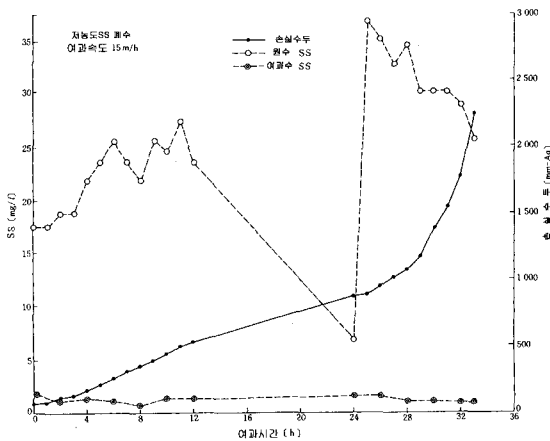


그림 4 C공장실험결과(1)

5-6 D공장(상질지+아트지)

(1)원수의 종류

제지폐수의 응집침전 처리수로 pH는 6.7~7.4로 거의 중성이다. SS는 평균 8mg/l 이다.

(2)처리목표

여과수SS를 2mg/l 이하,여과지속시간을 12시간으로 한다.

(3)실험결과

표6에 나타난것과 같이 여과수질은 여과속도보다도 Clarifier에 황산알루미늄의 주입율이 30~40mg/l 에서는 여과속도 15m/h에서도 여과수 SS 2 mg/l 이하의 처리목표를 만족시키지 못하나 황산알루미늄의 주입율이 66mg/l 에서는 여과속도 25m/h에서도 그림6에 나타난 것과 같이 처리목표를 만족시키며 또한 12시간이상 여과 지속이 가능하다.

표 6 D공장 여과실험결과

여과속도 [m/h]	여과시간 [h]	SS(mg/l)		도달손실수두 [mm-Aq]	Clarifier에 황산알루미늄의 주입율(mg/l)
		원수(평균)	여과수(평균)		
20	12	10.4	3.4	1,191	0~30(평균25)
15	12	9.6	2.5	1,313	30~66(평균)
25	12	14.9	6.9	313	0
25	12	5.9	1.5	1,156	30
25	12	7.0	0.6	1,504	66

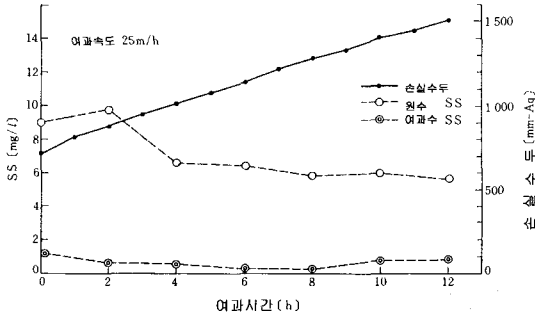


그림 6 D공장 실험결과

5-7 E공장(백상지+상질지)

(1) 원수종류

제지폐수의 응집침전처리수에서 SS는 평균 10 mg/l 이다. pH는 2.3~12로 대폭적으로 변동하고 있다.

(2) 처리목표

여과수 SS를 3mg/l 이하, 여과지속시간을 12시간으로 한다.

(3) 실험결과

표7의 실험결과에 나타난 것과 같이 여과속도 20m/h 이하에서는 여과수 SS를 3mg/l 이하로 가능하다.

백판지폐수도 상질지폐수와의 실험결과를 비교해보면 표7에서 알 수 있는 것과 같이 같은 여과속도에서는 여과수 질의 차가 보이지 않으나 손실수두의 증가속도는 상질지

폐수가 크다. 최종손실수두를 2,700mm-Aq로 했을 때 백판지폐수에서는 12시간이상의 여과지속도 가능하나 상질지폐수에서는 그림7에서 알 수 있듯이 엔스라사이트표층에 눈막힘 현상이 빨리 일어나며 12시간의 여과지속은 어렵다.

표 6 D공장 여과실험결과

원수종류	여과 속도 (m/h)	여과 시간 (h)	SS(mg/l)		도달손실수두 (mm-Aq)	원수 pH
			원수 (평균)	여과수 (평균)		
백판지폐수	15	12	12.9	2.3	1,585	5.6~12
	20	12	12.3	1.9	1,482	5.0~12
	25	12	10.3	3.2	2,405	2.3~12
	30	12	8.8	3.3	2,633	5.6~12
상질지폐수	20	10	6.4	1.0	1,149	4.9~12
	15	11.5	10.6	1.2	2,838	4.3~12
	20	8	9.1	2.2	2,597	3.6~12

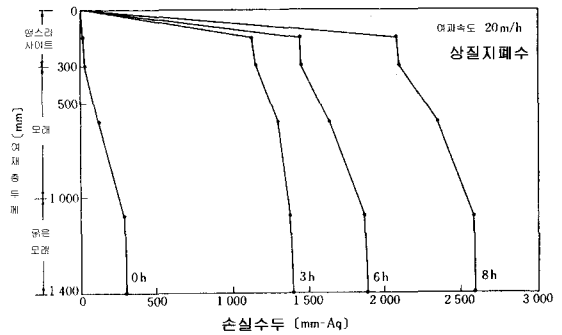


그림 7 손실수두의 여과층 내부도(E 공장)

**'환경기술정보총람 2' 발간**

본연합회에서는 전국의 환경관리인 및 환경인들에게 기술정보 제공을 통해 환경관리 업무에 도움을 주고 고자 국내 환경현황을 총망라한 환경관리인의 지침서인 '환경기술정보총람2'를 발간하였습니다.

- 게재내용 : 업체별환경기술정보, 환경기술자료, 환경정보자료, 환경관련 업체현황, 환경관리인 주소록 외 회원들이 반드시 알아야 할 환경상식
- 판매가 : ·회원 10,000원 ·비회원 30,000원
- 문의 : 본연합회 사무국 / 전화(02)2638-0186, 전송(02)2638-0189

**(사)전국환경관리인연합회**