

제지폐수의 재활용에 따른 여과기술<하>



조준형 (趙駿衡)

강원대학교 산림과학대학 제지공학과 교수, 공학박사

- 57년 경북포항 출생. 중앙대 화학공학과 졸, 일본 나고야대학 공학부 화학공학과(석·박사)
- (전) 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
산업자원부기술평가위원
강원대학교 학생처 부처장
- (상훈) 미국 농무성 공로상(1997. Filtration System)

목 차

제1장 서론

제2장 여과막의 층에 대해

- 2-1 수송단계
- 2-2 부착단계

제3장 최근의 여과기술에 대해

제4장 제지폐수여과의 기본적인 방법

제5장 제지공장에 따른 실험에

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

제6장 결론

5-8 역세방법의 검토결과

제지폐수의 여과에 있어서는 여재층 오염이 최대문제이며 여재층 세정에 대해서는 특히 주의가 필요하다. 원수역세는 여재층중에 머드볼이 발생하기 때문에 역세수로서 여과수를 사용하는 것이 바람직하다. 또한 물세정만으로는 여재로부터 SS를 완전히 분리하는 것이 불가능하므로 공기세정의 병용이 필수조건이다. 물세정속도는 표8에 나타난 것과 같이 크게 할수록 역세시간이 짧아지며 역세수 량비를 작게 할 수가 있다.

5-9 SS보족량과 보족된 SS의 걸보기밀도에 대해

A,B,C,D,E 각 공장에 따른 실험결과를 기초로 여재층 내에 보족되어진 SS양을 여재단위용적당 SS보족량(kg-SS/m³-여재)으로 표시하였다. 그리고 C공장에 따른 실험 결과에 대해서는 여재층내에 보족된 SS를 여재표면에서의 걸보기밀도(kg/m³)와 여재단위표면적당 SS보족량(g-SS/m²)으로 나타내었다.

아래에 이들의 계산방법과 계산결과에 대해 간단히 요약해 보면,

① 여재단위용적당의 SS보족량

실험결과로부터 손실수두의 증가치가 1,500mm-Aq에 도달할때까지 여재층내에 보족되어진 SS량을 계산하여 각 제지공장에 대해 비교한 것을 표9에 나타내었다. C공장에서는 사용한 여재입경이 크고,SS가 여재전층에서 보족되어지기 때문에 SS보족량은 섬유함유량이 많은 저농도 SS폐수에서 평균7.55kg-SS/m³-여재, 섬유량이 적은 고농도 SS폐수에서는 24.0kg-SS/m³-여재와 매우 큰 차이를 보이고 있다. 한편, A공장에서는 여재층내에 머드볼이 발생하고 E공장에서는 SS가 여재표층에서 많이 보족되기 때문에 SS보족량은 1kg-SS/m³-여재에 대해 작고 모래단층에 의한 여과 SS보족량값과 거의 같으므로 이중층 여과 효과가 보여지지 않는다.

② 보죽 SS의 걸보기 밀도

아래에 보죽SS의 걸보기밀도에 대한 계산방법의 예를 나타낸다.

$$\text{보죽 SS의 걸보기밀도를 } \rho_s^* = \Delta w / \Delta v \quad (1)$$

여기서 Δw : SS보죽량 [kg], Δv : 보죽SS의 걸보기용적 [m^3] 그리고 여재단위용적당 SS보죽량을 W [$\text{kg-SS}/\text{m}^3\text{-여재}$], 여재총진용적을 V [m^3], 여재진용적을 v [m^3], 여재가 청정상태의 공극율을 ϵ_0 라하면,

$$\frac{W}{\rho_s^*} = \frac{\Delta w}{V} = \frac{\Delta v}{v} (1 - \epsilon_0) \quad (2)$$

$$\rho_s^* = \frac{vW}{\Delta v(1 - \epsilon_0)} \quad (3)$$

ϵ_0 를 0.5로 하면

$$\rho_s^* = \frac{vW}{\Delta v} = 2W \frac{1}{\frac{v + \Delta v}{v} - 1} \quad (4)$$

여기서, $\frac{v + \Delta v}{v} = \alpha$ 로 놓으면

$$\rho_s^* = \frac{2W}{\alpha - 1} \quad (5)$$

또한, C공장의 여과조건에 대해서는 여재층내를 흐르는 액체의 레이놀수는 9~24로 이것을 층류영역으로 보면 여재층내를 흐를 때의 손실수두는 (6)의 Kozeny-Carman의 식으로 나타낼 수가 있다.

$$\Delta h = \frac{180L}{(\phi_s \cdot \alpha_p)^2} \cdot \frac{(1 - \epsilon)^2}{\epsilon^3} \cdot \frac{\mu u}{\rho g c} \quad (6)$$

여기서 Δh : 손실수두,
 ϕ_s : 형상계수,

[표 9] SS보죽량 비교

	SS보죽량(kg-SS/m ³ -여재)		여재구성(mm)	여과속도(m/h)
	변동폭	평균		
A공장	0.87~1.10	1.0	앤스라사이트es 1.0 모래 es 0.6	8
B공장	2.25~8.41	5.31	앤스라사이트es 1.8 모래 es 0.9	15~20
C공장	저SS폐수	5.38~9.96	앤스라사이트es 3.4 모래 es 1.45	15~25
	고SS폐수	16.7~31.2		15
D공장	2.0~3.65	2.80	앤스라사이트es 1.2 모래 es 0.6	15~25
E공장	백판지폐수	1.14~2.73	앤스라사이트es 1.8 모래 es 0.9	15~30
	상질수폐수	0.78~1.18		15~20

[표 8] 물세정속도의 역세시간 및 역세수량비에 대한 영향

	여과속도 (m/h)	역세조건		역세폐수중의 SS농도(mg/l)										역세수량비(%)
		공기세정속도 (Nm ³ /(m ² ·min))	물세정속도 (m/min)	역세경과시간										
				0s	10s	20s	40s	1min	2min	3min	5min	7min	10min	
C공장	15	1.0	1.0	1,230	1,190	1,070	460	172	23.3	13.6	4.7	2.5	2.2	5.4
		1.0	1.0	2,440	2,570	1,910	950	270	53	25	9.2	3.8	1.4	7.8
	15	1.0	1.4	7,485	5,740	3,330	286	11.8	5.8	6.9	1.2	0.9	-	3.9
		1.0	1.4	9,190	6,970	2,415	502	20.4	7.7	3.6	2.9	2.2	2.2	3.9
D공장	20	0.8	1.1	3,790	3,510	2,560	636	90	7.5	3.0	1.6	1.4	1.2	1.4
	25	0.8	0.8	3,100	2,790	2,390	1,450	360	13.7	6.6	4.6	3.2	2.6	2.7
E공장	15	1.0	1.0	3,084	2,704	1,224	418	241	21.0	7.0	3.7	2.3	0.1	3.9
		1.0	1.2	2,640	2,250	846	183	34	8.0	3.5	2.5	2.2	0.3	3.3

* 역세수량비 = 역세폐수중의 SS가 3mg/l 이하로 되기까지의 역세수량 / 12시간의 여과수량

ϵ : 공극율, L : 여재층두께,
 dp : 여재입경, ρ : 액체밀도,
 μ : 액체점도, u : 여과속도,
 gc : 중력계수

SS가 여재층내에서 보축되어져 있다고 가정하면 손실수두는 SS의 보축에 의한 공극율 감소에 의해 증대한다. 따라서 (6)식으로부터 $t=0$ 와 $t=t$ 일때의 손실수두비는 t 시간후의 여재 공극율을 ϵ_t 라하면 다음식으로 표시된다.

$$\frac{\Delta ht}{\Delta h_0} = \frac{(1-\epsilon_t)^2}{\epsilon_t^3} \cdot \frac{\epsilon_0^3}{(1-\epsilon_0)^2} \quad (7)$$

여기서 $\epsilon_0=1-v/V$, $\epsilon_t=1+(v+\Delta v)/V$ 로 나타낼수 있으므로

$$\frac{\Delta ht}{\Delta h_0} = \left(\frac{v+\Delta v}{v}\right)^2 \cdot \left\{\frac{V-v}{V-(v+\Delta v)}\right\}^3 \quad (8)$$

$\epsilon_0=0.5$ 이면 $V=2v$ 가 되어

$$\frac{\Delta ht}{\Delta h_0} = \left(\frac{v+\Delta v}{v}\right)^2 \cdot \left(\frac{1}{2-\frac{v+\Delta v}{v}}\right)^3 \quad (9)$$

$$=a^2 \left(\frac{1}{2-a}\right)^3$$

따라서 실험측정치 Δh_0 , Δht , W 를 이용하여 (5)식과 (9)식으로부터 ρ_s^* 가 구하여진다. 계산결과를 표10에 나타내었다. 이것에 의해 제지폐수여과의 보축SS의 걸보기밀도는 작은값인 경우 농축활성오니정도값을 나타내고 큰값인 경우 농축정수오니와 같거나 그 이상의 값을 갖는다.

[표 10] C공장의 SS보축량·보축SS의 걸보기 밀도 계산에

여과속도 (m/h)	여과시간 (h)	$\Delta ht/\Delta h_0$ (-)	α (-)	ρ_s^* (kg/m ³)	여재단위용적당 SS보축량 (kg-SS/m ³ -여재)	여재단위표면적당 SS보축량 (g-SS/m ²)
10	12	12.9	1.454	10.3	2.33	1.47
15	12	9.2	1.402	18.5	3.71	2.35
20	12	12.3	1.446	23.2	5.18	3.28
25	12	9.4	1.405	27.4	5.54	3.51
15	12	11.5	1.436	19.5	4.26	2.69

15	12	9.4	1.405	19.2	3.88	2.46
15	24	25.5	1.546	28.0	7.64	4.84
15	24	19.7	1.512	40.6	10.4	6.58
15	24	33.3	1.579	23.5	6.8	4.28
15	33	37.4	1.592	35.8	10.6	6.68
15	12	4.4	1.281	22.7	3.19	2.02
15	12	6.0	1.333	55.8	9.29	5.88
15	12	10.9	1.428	57.9	12.4	7.86

[표 11] SS 측정결과

여지	sample	SS(mg/l)	
		Membrane Filter TOYO TM-100	Glass Filter TOYO GA-200
1	원수	24.8	12.0
	여과수	11.2	2.9
2	원수	27.3	13.5
	여과수	19.0	11.3
3	원수	17.5	9.2
	여과수	8.0	1.4

③ 여재단위 표면적당 SS보축량

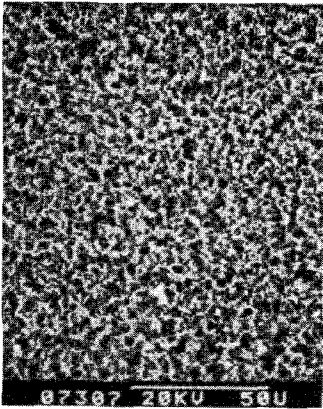
여재의 비표면적 $a_p(m^2/m^3)$ 는 (10)식에 의해 구하여진다.

$$a_p = 6 \cdot \frac{1-\epsilon}{\phi_s \cdot dp} \quad (10)$$

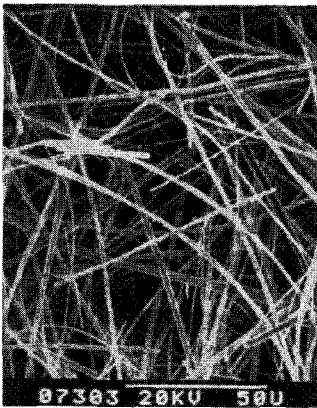
형상계수 ϕ_s 의 값은 모래가 0.83, 엔스라사이트가 0.73이다.

a_p 값과 실험결과로부터 구한 여재단위표면적당 SS보축량을 표10에 나타내었다. SS보축량값은 상수도의 정수장에 의한 모래여과에서의 SS보축량값 0.15~0.2g-SS/m²과 비교하면 큰값을 나타내고 있다.

그리고 Membrane filter와 Glass filter를 사용하여 원수와 여과수의 SS를 측정하 비교결과를 표11에 나타내었으며, 전자현미경을 이용하여 여과지의 표면구조를 사진1과 사진2에 나타내었다.



[사진 1] Membrane Filter TOYO TM-100(×100)



[사진 2] TOYO TM-200(×700)

제6장 결론

각 제지공장에 있어 폐수의 회수재이용 장치를 설치하는 경우 다음사항을 유의할 필요가 있다.

- (1)앤스라사이트·모래의 이중층을 수용하고 가능한 한 심층여과를 실시할 것.
- (2)적절한 여재구성을 선정하고 여과지속시간은 12시간 이상으로 할 것.
- (3)초지폐수의 여과에 있어서는 슬라임 및 머드볼이 발생하기 쉽기 때문에 물세정,공기세정을 수용하고 세정효과를 높힐 수 있는 배치가 필요하다.
- (4)여과장치를 설계하는 경우는 전처리로서 침전 및 부

상처리에 의해 SS를 제거하고 여과장치에 대한 SS부하를 가능한 한 작게할 것.

(5)장치의 운전조작을 충분히 고려하여 원수탱크,처리탱크의 용량을 결정하는 것과 물탱크의 용량부족이 원인으로 공장조업에 커다란 지장을 초래하는 경우도 있다.

이상으로 초지폐수의 재회수이용에 대해서 개요를 소개하였으며 본 논문에서 제시한 DATA가 현장에서의 제지폐수처리공정의 효율적인 설계 및 여과장치의 구조와 내용을 이해하는데 기초자료로서 활용 가능하리라 생각된다. ◀

*알림 : 환경관리인의 배움마당 「우리나라 산업폐수 처리장의 현황 조사 분석(최종회), 손정일,은 환경업무정보의 기사가 넘치는 관계로 이번호에는 쉽니다.

'환경관리인의 배움마당'에서 주인을 찾습니다.

월간 <환경관리인>에서는 공부하는 환경인을 찾습니다. 어려운 현실에도 아랑곳하지 않고 현장을 지키는 환경파수꾼의 배움흔적을 찾아 '환경관리인의 배움마당'에 소개하고자 하니 환경업무에 종사하면서 석·박사 과정을 이수한 환경인은 학위논문(석·박사)을 보내 주십시오. 여러분의 학위논문을 소중하게 다루어드리는 '환경관리인의 배움마당'에 환경인 여러분의 많은 참여 바랍니다.

- ♣ 원고는 수시로 받습니다.
- ♣ 학위논문 발표기간은 상관하지 않습니다.
- ♣ 보내주신 원고는 돌려드리지 않습니다.