

# 화장지 공정수의 효율적 재활용을 위한 여과처리 방법

조준형 · 최윤성 · 강미란

강원대학교 산림환경과학대학 제지공학과

## 1. 서론

화장지 공장에서 배출되는 공정수는 대부분 폐지만을 펄프로 사용하고 충전제와 안료 및 약품과 염료를 사용하지 않는다. 따라서 공정수를 분석해 보면 공정수 90%에 재생펄프 5%, 약품 5% 정도로 구성되어 있음을 알 수 있다. 제지산업은 종이 1톤을 생산하는데 약 100여톤의 물을 사용하는 전형적인 용수 다소비산업이기 때문에 발생하는 공정수의 관리 및 취급은 상당히 중요하다. 대부분의 제지공장에서는 이런 공업용수를 90%이상 재순환시켜 재활용하고 있다. 백수의 재활용을 보다 효율적으로 함에 따라서 생산비용의 절감과 폐수처리 비용을 줄일 수 가 있다. 따라서 본 논문에서는 1차 펄트에서 배출되는 백수를 채취하여 정압 여과 실험을 행하여 여과압력과 농도 변화에 따른 여과제 특성치를 산출 제시하였으며, 백수 재사용에 따른 여과기 선정 및 여과 조작 그리고 백수의 고농축 슬러리 제조, 펄트 세정액 그리고 폐수처리량 감소에 따른 생산 비용 절감에 기여하리라 판단된다.

## 2. 재료 및 방법

### 2. 1 공시 재료

본 논문에서는 재생용지를 주 원료로 하여 화장지를 제조하는 N제지(주) 공장의 공정수를 사용하였으며, 공정수의 특성은 Table.1과 같다.

Table 1. Characteristics of wastewater used in this study

Item	Untreated wastewater
pH	7.07
Zeta potential(mV)	-277.2
Turbidity(FAU)	94
SS(ppm)	2000
COD(ppm)	650
BOD(ppm)	400

## 2. 2 실험 방법

### 2 .2. 1 정압여과시험

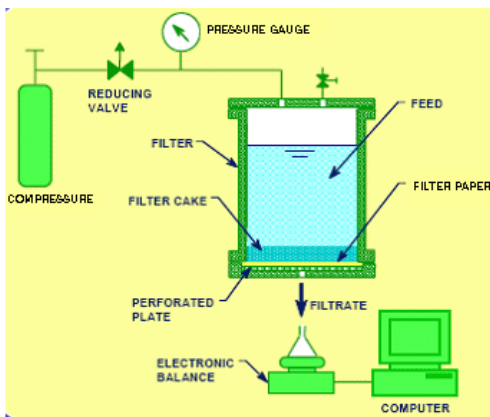


Fig. 1 Apparatus used in this study.

화장지 제조공정 중 1차 펄트에서 채취한 공정수 백수의 효율적인 재사용을 위해 고 농축 슬러리 제조, 펄트 세정액 그리고 폐수처리 용도로 분류 사용하기 위해 공정수 농도 1~5%, 여과압력을 24.5~49kPa 조건 하에 여과실험을 행하여 여과 특성치를 조사하였다. 실험장치 개요는 Fig. 1에 표시하였다. 여과실험은 우선 여과시험기에 일정 슬러리를 주입하고 자동 압력계이지에 의한 일정압력을 가하여 이에 따른 일정여과시간

경과에 따른 여액량을 구한다. 구한 여액량은 여과기 단위면적당 여액량과 여과속도의 역수값을 취해 플롯하면 여과시간 경과에 따라 여과속도 역수값은 일정하게 증가하다가 어느 변곡점에 도달하면 급격히 증가하는 모양을 나타내고 있다. 이때 변곡점까지의 직선기간은 여과기간을 나타내며 직선의 기울기 값을 구하여 최종적인 여과비저항값을 산출하게 된다.

## 2. 2. 2 정압여과이론

여과 케익 내부의 여액흐름에 대해 전기학의 Ohm법칙을 적용하고, 여과속도  $q_1$ 은 압력차에 비례하고 저항에 반비례하며 일반적으로 여과 케익내의 여액유속은 매우 작으며 점도에 반비례 한다.

$$q_1 \equiv \frac{dv}{d\Theta} \equiv \frac{1}{A} \frac{dV}{d\Theta} = \frac{p}{\mu \alpha_{av}(w + w_m)} = \frac{Ap}{\mu \alpha_{av}(W + W_m)} \quad (2.1)$$

케익고형분질량과 여액량과의 관계로부터

$$W = \frac{\rho_s}{1 - ms} V, \quad w = \frac{\rho_s}{1 - ms} v \quad (2.2)$$

$m[-]$  : 케익습건질량비,  $s[-]$  : 슬러리중의 고체질량분율  
 $\rho$ [kg/m<sup>3</sup>]: 여액밀도

$W_m$ 을 형성하기 위한 가실적 여액량을  $V_m$ [m<sup>3</sup>]으로하면

$$W_m = \frac{\rho_s}{1 - ms} V_m, \quad w_m = \frac{\rho_s}{1 - ms} v_m \quad (2.3)$$

Eqs.(2.2), (2.3)을 Eq.(2.1)에 대입하면

$$\frac{dv}{d\Theta} = \frac{dV}{A d\Theta} = \frac{p(1 - ms)}{\mu \alpha_{av} \rho_s (v + v_m)} = \frac{Ap(1 - ms)}{\mu \alpha_{av} \rho_s (V + V_m)} \quad (2.4)$$

정압여과( $p$ =일정)시 평균 여과비저항  $\alpha_{av}$ 와 여과케익 습건질량비  $m$ 값이 일정하다고 가정하고 윗식을 적분하면 Ruth의 정압여과식이 얻어진다.

$$\begin{cases} V + V_m)^2 = K_V(\Theta + \Theta_m) \\ K_V \equiv 2A^2 p(1 - ms) / \mu \rho_s \alpha_{av} \end{cases} \quad (2.5)$$

$K_V$  [m<sup>2</sup>/s] : Ruth 정압여과계수,  $\Theta_m$  [s] :  $V_m$ 에 대응하는 가상여과시간  
 $V/A \equiv v$ 의 관계로부터

$$\begin{cases} (v + v_m)^2 = K_v(\Theta + \Theta_m) \\ Kv \equiv 2p(1 - ms) / \mu \rho_s \alpha_{av} \end{cases} \quad (2.6)$$

그리고 여과기간내의 직선의 기울기값은 다음식으로 나타내어진다.

$$\text{Slope} = 2/K_v = \mu \rho_s \alpha_{av} / p(1 - ms) \quad (2.7)$$

$$\alpha_{av} = p \text{ slope} (1 - ms) / \mu \rho_s \quad (2.8)$$

### 3. 결과 및 고찰

여과시간 경과에 따른 여액량은 Fig. 2에 나타내었다. 여과시간 초기에는 급속하게 여액량이 증가하며 일정시간 이후에는 증가량이 급속히 감소하는 것을 알 수 있다.

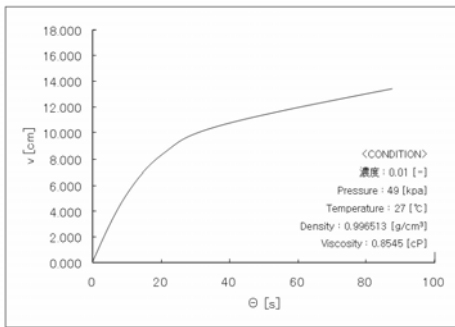


Fig. 2 Filtrate weight vs. Time.

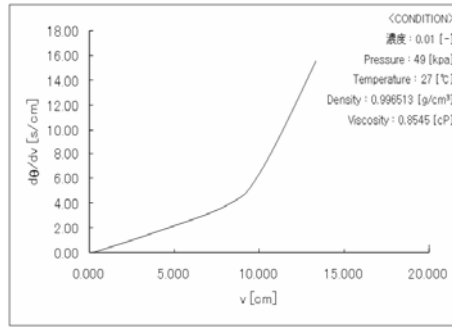


Fig. 3 Filtrate weight vs. Inverse number of filtration velocity.

Fig. 3에는 여과시간 경과에 따른 여과속도의 역수를 표시하였다. 그림에서 알 수 있듯이 어느 일정기간까지는 여과속도 역수값이 완만히 증가하다가 어느 일정시간 이후에는 급속히 증가함을 나타내었으며 그림에서의 변곡점이 여과기간의 종료를 나타내는 시간이다. 이때 여과기간내의 직선의 기울기를 구하여 최종적인 여과비 저항값을 구하는데 사용되어진다.

Fig. 4는 압력변화에 따른 여액량 변화를 나타낸 그림이다. 그림에서 알 수 있듯이 압력이 높을수록 여액량이 증가하는 것을 알 수 있다. Fig. 5는 농도변화에 따른 여액량 변화를 나타낸 그림이다. 농도가 증가 할수록 여액량이 감소함을 알 수 있었다. Fig.

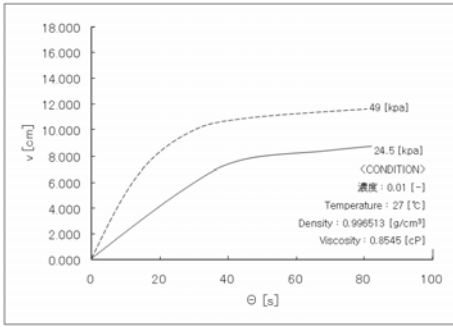


Fig. 4 Filtrate weight vs. Pressure.

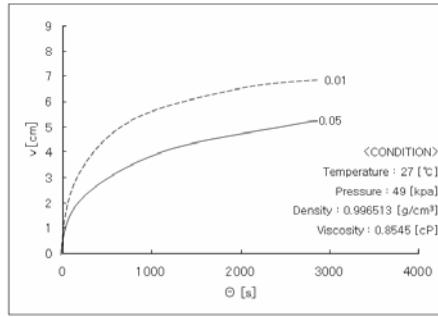


Fig. 5 Concentration vs. Filtrate weight.

6, 7은 압력변화 및 농도변화에 따른 여과케익의 습건질량비 값을 나타낸 그림이다. 여과케익의 습건질량비  $m$ 은 여과실험 종료후 습윤 여과케익과 일정시간 건조후 측정된 건조 여과케익과의 질량비를 표시한 것이다.

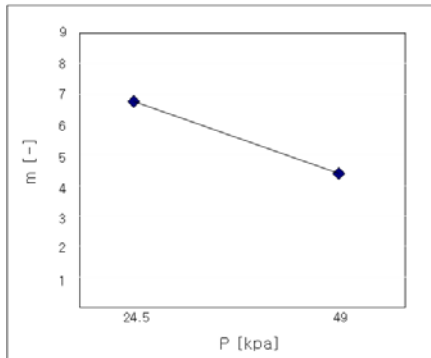


Fig. 6 Pressure vs. Mass ratio of wet to dry cake.

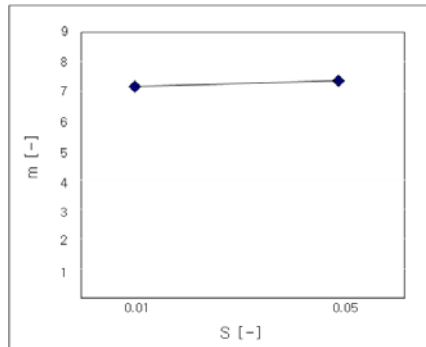


Fig. 7 Concentration vs. Mass ratio of wet to dry cake..

Fig. 8, 9는 압력변화 및 농도변화에 따른 여과비 저항값을 나타낸 그림이다. 그림에서 알 수 있듯이 압력이 증가 할수록 여과비 저항값이 증가하였으며 농도가 증가할수록 여과비 저항값은 감소함을 알 수 있었다.

#### 4. 결론

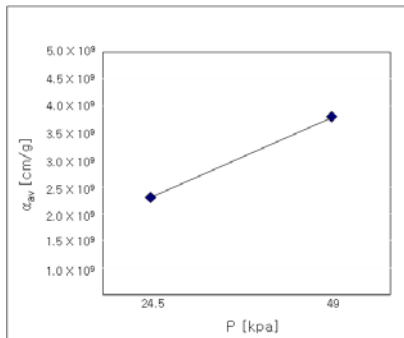


Fig.8 Pressure Vs. Filtration specific resistance.

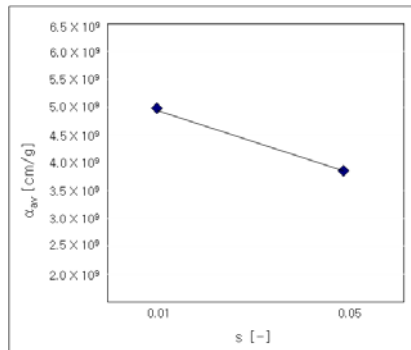


Fig.9 Concentration Vs. Filtration specific resistance.

본 실험에서는 화장지 제조 공정중 1차 펄트에서 채취한 공정수 백수의 효율적인 재사용을 위해 여과압력 및 공정수 백수의 농도변화에 따른 여과실험을 행하여 다음과 같은 결론을 제시하였다.

1. 정압 여과압력이 증가 할수록 여액량이 증가하였으며 여과시간 경과에 따른 여과속도의 역수를 표시하여 여과기간내의 직선의 기울기를 구하여 최종적인 여과비저항값을 구하는데 사용하였다.
2. 일정압력하에서 농도가 증가 할수록 여액량이 감소함을 알 수 있었다.
3. 여과실험에서 생성된 여과케익의 습건질량비 즉 케익내의 함수율은 압력이 증가할수록 감소하였으며 일정 압력하에서 농도변화에 따른 값은 거의 변하지 않음을 알 수 있었다.
4. 여과공정에서의 여과비저항값은 여과기 선정 및 처리비용을 결정짓는 중요한 항목이다. 실험결과에서 알 수 있듯이 압력이 증가 할수록 여과비저항값이 증가하였으며 농도가 증가할수록 여과비저항값은 감소함을 알 수 있었다.

화장지 제조공정에 있어서 백수의 고효율적 사용방법을 제안 하는데 있어, 본 실험결과에서 제시한 여과제 특성치를 참고하여 적용한다면 보다 효율적인 여과기 선정 및 여과조작이 가능하리라 기대된다.

## 5. 참고문헌

1. Cho, J. H., Pulp and paper wastewater treatment technology, Kangwon national university press, pp. 9-11(2000).
2. Kim, N. J., Study on the determination of optimum conditions for the pretreatment of sludge dewatering, Journal of Korea Society of Water and Wastewater, pp. 1-3(1998).
3. Lee. S. H., and Lim, T. J., and Cho. J. H, Korea TAPPI 34(2) : 95(1998)
4. Cho, J. H. Studies on Expression Operations of Filter Cakes. Wood Science and Technology 18(1)(1990).
5. Murase, T., K. Kobayashi, E. Iritani, K. Ito and M. shirato:J. Chem, Eng. Japan, 18, 230(1985).
6. Murase, T., E. Iritani, J. H. Cho. S. Nakanomori and M. Shirato, Determination of Filtration Characteristics Due to Sudden Reduction in Filtration Area of Filter Cake Surface, J. Chem. Eng. Japan, 20, pp. 246-251(1987).
7. Murase, T., E. Iritani, J. H. Cho and M. Shirato, Filter Cake Dewatering Due to Sudden Reduction in Filtration Area by Use of Floating Compression Disk, Kagaku Kogaku Ronbunshu, 14, pp. 563-566(1988).
8. Ruth, B. F. Studies in Filtration. III. Derivation of General Filtration Equations, Ind. Eng. Chem., 27, pp. 708-723(1935).
9. Cho, J. H., J. Korea TAPPI 21(4), p. 16(1989).
10. 강원대 환경연구소 논문집, 제 12권 1호, pp. 17-25(1995).