

목재펄프 및 비목재 섬유유의 여과제 특성에 관한 연구^{*1}

조 준 형¹⁾ · James S. Han²⁾ · 이 범 구³⁾

Study on Filtration Characteristics of Wood Pulp and Non-Wood Fiber^{*1}

Jun-Hyung Cho¹⁾, James S.Han²⁾, Beom-Goo Lee³⁾

ABSTRACT

The drainage was used to determine the specific filtration resistance for wood and non-wood fibers. The drainage rate is also affected by factors that can be changed on consistency, pressure drop across the mat, basis weight, additives, and viscosity. Recent development of theoretical studies in flow through porous media and filtration operation emphasize the urgent need for more accurate data for porosity and specific filtration resistance. This study was investigated to determine specific filtration resistance of Hw, Sw-BKP and Kenaf fiber by filtration experimental. Freeness levels selected were 150,250,and 350 ml CSF. The average specific filtration resistance decreased as freeness increased and resistance of Sw-BKP was greater than that of Hw-BKP. The filtrate and porosity increased and specific filtration resistance decreased as particle size of fiber increased.

Keywords : Drainage, specific filtration resistance, media, kenaf, freeness, filtrate, porosity

1. 서 론

펠트상에서의 탈수조작에서 발생하는 여과압착공정은 초지공정에서의 중요한 단위조작이며 이 과정의 매카니즘을 구명하고 효율적인 탈수조작을 얻기 위해서는 여과제 특성값인 여과 시간에 따른 여액량 및

여과속도에 따른 여과비저항치 및 공극율을 구하여 이에 형성된 지층구조의 내부구조를 알 수 있어야 한다. 여과비저항은 섬유매트의 물리적 특성에 영향을 주며, 주로 비저항에 관한 이론은 비압축성 매체를 가지고 발전되어 왔다. Ingmanson(1952)은 다공성매체의 유동에 대한 Darcy의 법칙에 근거한 이론식이 셀룰로오스 섬유유의 압축성 매트의 여과 비저항값을

*1 접수 1998년 10월 8일 Received October, 8, 1998

본 논문은 '96년도 강원대학교 기성회 교수해의 연구지원에 의하여 수행되었음.

1) Department of Paper Science & Engineering, Kangwon National University, 200-701 Chunchon, Korea
2) USDA, Forest Service, Forest Products Laboratories, Madison, Wisconsin, U.S.A
3) Department of Forestry, University of Wisconsin, Madison, Wisconsin, U.S.A

측정하는데 이용될 수 있음을 제시하였으며, 정압 상태에서 펄프 슬러리의 여과비저항값에 대한 수학적 모델식을 제안하였다(1954). 또한 유체유동에 기초한 Kozeny-carman식에 의하면, 비저항값은 건조된 고형물의 밀도, 섬유의 비표면적, 섬유매트의 공극율에 의해서 영향을 받음을 보여주었다(Bennet *et al* 1982). 그리고 Britt와 Unbehnd(1986)는 Dynamic Drainage Jar를 사용하여 습지 형성시 탈수현상을 연구하였다. 압축성 셀룰로오스 섬유매트의 경우에 대하여 여과식을 적용시키는 비여과 저항에 대한 측정방법은 Pires등(1989)의 연구에 기초하여 발전되어 왔다. 본 실험에서 사용한 여과비저항값 및 공극율은 M. Shirato의 여과이론식(1968, 1977, 1980)으로부터 구하였으며, 여과장치는 자체개발 제작한 가압 여과실험기를 이용하였다. 지층내의 비저항값과 공극율은 초지공정에 있어 중요한 인자이며, 그 값들은 탈수특성의 지수로서, 공장의 장치 설계와 조작에 이용될 수 있다. 본 연구에서는 여과단 위조작을 통해 펄프의 종류 및 고해도 변화 그리고 비목재 화이버의 슬러리를 조제하여 정압여과 실험을 행하여 여과시간에 따른 여액량, 여과속도를 측정하여 여과 비저항 및 공극율을 계산하고 이에 따른 내부적 메카니즘을 구명하고 해석하기 위해 여과이론식을 제시하여 보다 효율적인 여과조작공정을 개발함으로써 생산원가 절감 및 고품질의 제품생산에 따른 새로운 공정기술 개발에 필요한 기초 데이터를 제시하고자 하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

정압여과시험기의 장치개요는 다음과 같이하여 제작 설계하였다. 에어컴프레샤에 의해 발생된 압력은 에어필터와 압력 레귤레이터를 지나 여과 시험기내에 일정한 압력으로 공급된다. 또한, 통과된 여과액은 일정 시간 간격으로 자동 측정이 가능하도록 설계 하였다.

2.2 실험방법

실험 시료로는 가장 널리 사용되고 있는 Hw-BKP 및 Sw-BKP(침엽수 및 활엽수 표백크라프트펠프)를 실험실용 Valley Beater로 여수도 150ml CSF, 250ml CSF, 350ml CSF로 고해를 하여 사용하였으며, 펄프의 농도는 0.3%, 가압여과실험기의 내부압력은 49kPa 로 하였다.

또한, 비목재 섬유인 Kenaf를 이용하여 여과특성값을 구하였으며 Willy mill을 사용하여 fiber 및 수피부분을 제외한 core를 20, 40, 60 mesh 통과분을 사용하였으며 여과실험을 진행하여 일정시간 간격으로 여액량을 측정하여 여과시간에 따른 여액량의 변화 및 여과속도를 계산하여 여과이론식에 기초하여 각 펄프 및 Kenaf의 평균 여과비저항, 평균 공극율을 구하였다.

유체 유동모형과 지료성분에 영향을 받는 전체 탈수저항은 와이어와 섬유매트에 의한 유동에 대한 총저항효과이다. Pires등(1989)은 Darcy식을 정리하여 다음과 같이 표기하였다.

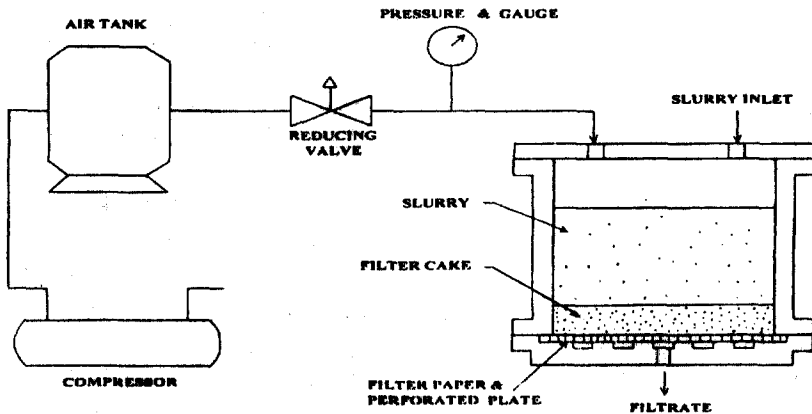


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus

$$dV/dt = A dP / [\mu(R_f + R_w)] \quad (2-1)$$

여기서 dV/dt [m^3/s]는 탈수속도, $A[m^2]$ 는 유로 단면적, $dP[Pa]$ 는 여과압력, $\mu[Pa.s]$ 는 여액점도, $R_f[1/m]$ 는 섬유매트에 의한 탈수저항, $R_w[1/m]$ 는 와이어에 의한 탈수저항이다.

섬유의 저항치 R_f 는 습지의 단위면적당 섬유질량 과 여과비저항값에 의해 나타낼 수 있다.

$$R_f = (W/A) \alpha \quad (2-2)$$

$$W = CV \quad (2-3)$$

여기서, $W[kg]$ 는 섬유질량, $\alpha[m/kg]$ 는 여과비저항, $C[kg/m^3]$ 는 슬러리내의 섬유농도, $V[m^3]$ 는 탈수된 여액체적이다. 그리고 위의 식(2-1),(2-2),(2-3)을 정리하면 아래와 같다.

$$dt/dV = \mu CV \alpha / (A^2 dP) + \mu R_w / (A dP) \quad (2-4)$$

식(2-4)가 여과 탈수과정에서 탈수되어진 여액량 V 에 따른 여과속도의 역수 dt/dV 를 Plot하면 직선 관계로 표시되며, 이 기울기와 절편값으로부터 α 및 R_w 를 각각 구할 수가 있다. 그리고 전체 탈수과정에 있어서의 저항값은 섬유매트 무게의 증가에 따라 직선적으로 증가한다고 가정하면, 식(2-5)로 표시 되어진다.

$$R_t = \alpha BW + R_w \quad (2-5)$$

여기서 $R_t[1/m]$ 는 총 탈수저항값, $BW[kg/m^3]$ 는 섬유매트 체적에 대한 질량으로 표시된다. 여기서 또한 섬유매트내의 공극율은 식(2-6)을 이용하여 구할 수가 있다.

$$m = \frac{\text{mass of wet cake}}{\text{mass of dry cake}} = 1 - \frac{\rho \epsilon_{av}}{\rho_s(1 - \epsilon_{av})} \quad (2-6)$$

$m[-]$ 은 형성된 섬유매트내의 습건질량비, $\rho[kg/m^3]$ 는 여액밀도, $\rho_s[kg/m^3]$ 는 고형물 밀도, $\epsilon_{av}[-]$ 는 섬유매트내의 평균 공극율이다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 목재펄프의 여과특성치

Fig. 2는 49 kPa의 정압하에서 펄프 농도를 0.3%로 한 슬러리 150ml로 여과 실험을 행하여 여과시간에 대한 여액량의 변화로 나타낸 것이다. 그림으로부터 알 수 있는 것과 같이 일정 시간내에서 여수도값의 증가에 따라 여액량은 증가한다. 따라서 일정한 압력하에서의 여과실험에 의한 여액량은 펄프의 고해변화에 영향을 받음을 알 수 있었다.

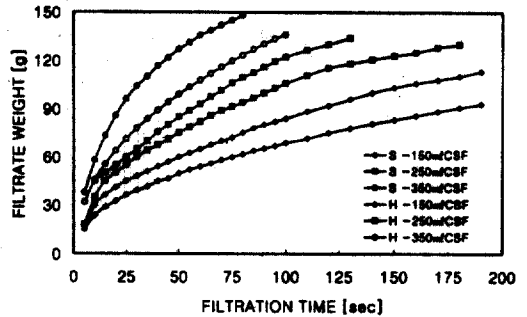


Fig. 2. Relation between filtration time and filtrate weight

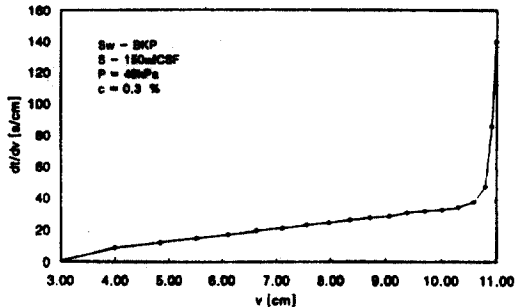


Fig. 3. Relation between reciprocal flow rate and filtrate volume per unit medium area

Fig. 3은 Sw-BKP를 사용한 filter의 여액량에 따른 여과속도 역수(dt/dv)의 변화를 나타내었다. 이 그림에서 dt/dv 는 점차적으로 증가하는 직선형태를 나타내다가, 일정시간이 경과한 이후로 급속히 증가하고 있는데, 여기서 직선의 기울기를 구하여 식(2-4)에 대입하면 여과제 특성치인 평균 여과비저항 및 평균 공극율값을 구할 수가 있다.

Fig. 4는 $p=49\text{kPa}$ 의 일정압력과 Sw,Hw-BKP 0.3%의 농도로 조제한 시료를 사용하여 여과실험을 행하여 얻은 평균 여과비저항값을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 것 같이 평균 여과비저항값은 여수도가 150ml CSF에서 350ml CSF로 증가함에 따라 감소하며, 다시 말해 고해가 많이 진행될수록 평균여과비저항값은 증가함을 알 수 있으며 Sw-BKP의 비저항값이 Hw-BKP 보다 큰 값을 나타내고 있다.

Fig. 5는 여수도 변화에 따른 평균 공극율을 나타낸 것이다. 즉 Hw-BKP가 Sw-BKP보다 작은 값을 나타냄을 알 수 있으며 여수도값이 증가할수록 Hw-BKP와 Sw-BKP의 차이는 점차 작아지는 것으로 보여진다. 그리고, 평균 여과비저항치는 250ml CSF에서 350ml CSF까지 변하는 여수도보다 150ml CSF에서 250ml CSF까지 변하는 여수도에서 더 빠르게 감소하였다. 이것은 고해, 소섬유화, 섬유의 분해가 미세분을 증가시키고 여과 비저항성을 급속하게 증가시킨다고 한 Ingmanson의 결과(1952, 1954)와 일치한다. 또한, 고해도는 여과비 저항성에 영향

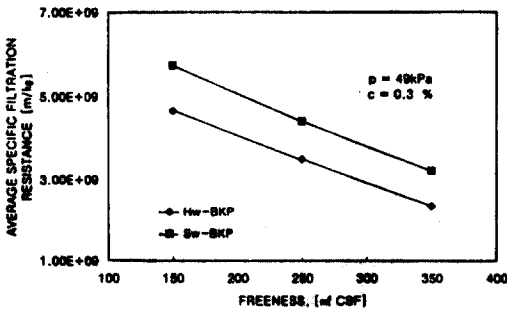


Fig. 4. Relation between average specific filtration resistance and freeness

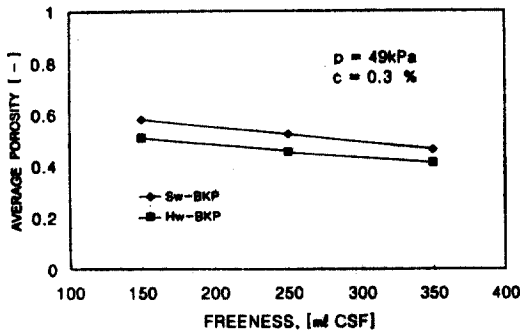


Fig. 5. Relation between average porosity and freeness

을 주는 가장 중요한 요소라고 생각할 수 있다. 이러한 결과는 여과비 저항성이 여수도의 증가와 더불어 감소한다는 것을 발견한 Pires 등의 결과(1969)와 일치하였다. 이같은 결과는 여수도의 감소가 여과비저항성을 증가시킨다는 주장을 뒷받침해 준다.

3-2. 비목재섬유의 여과특성

Fig.6은 Kenaf fiber 40mesh 통과분, 농도 2.0%로 조제하여 여과압력 $P=29\sim 49\text{kPa}$ 을 가하여 여과실험을 행한 결과이다. 이 그림에서 알 수 있는 것과 같이 초기 여과기간에서는 여액량이 급속히 증가하나 어느 일정시간 이후에는 증가폭이 서서히 감소함을 알 수 있다. Fig.7은 단위 여과면적당 여액량과 여과속도 역수와의 관계를 나타낸것으로서, 여과기간에서는 직선관계를 나타내지만 여과가 끝난 지점 이후에는 급격히 변화함을 알 수 있다. 따라서 여과기간에 따른 직선기울기를 구하여 식(2-4)에 대입하면

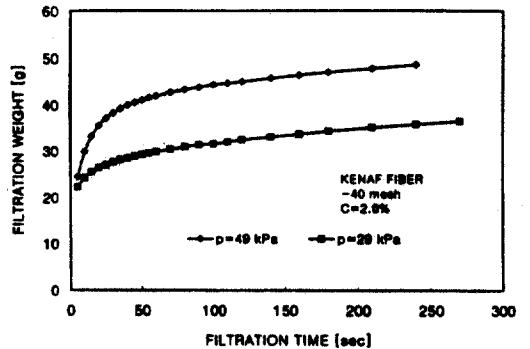


Fig. 6. Relation between filtration time and filtrate weight

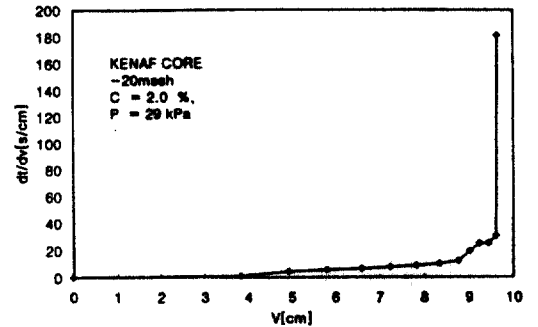


Fig. 7. Relation between reciprocal flow rate and filtrate volume per unit medium area

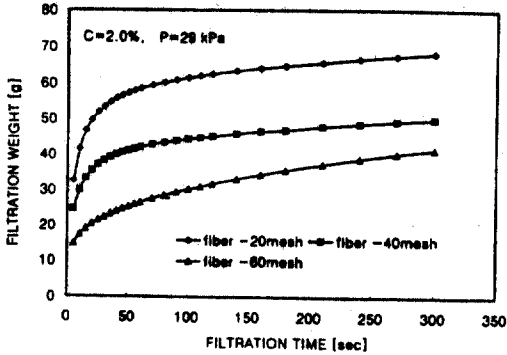


Fig. 8. Relation between filtration time and filtrate by fiber size

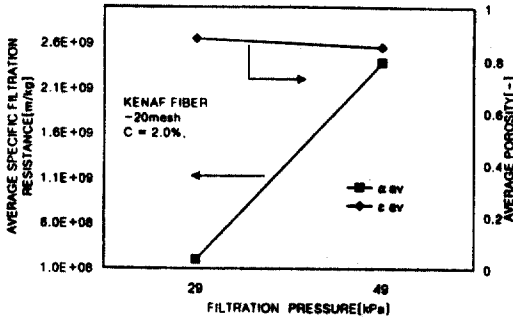


Fig. 9. Relation between average sepecific filtration resistance and average porosity by filtration pressure

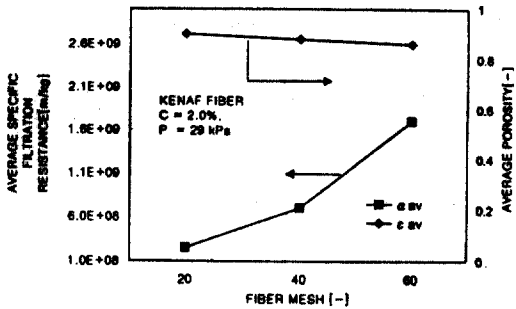


Fig. 10. Relation between average specific filtration resistance and average porosity by fiber size

Kenaf fiber 20mesh 통과분, 농도 2.0%로 조제하여 여과압력 변화에 따른 비저항값 및 공극율을 나타낸 것이다. 여기에서는 공극율은 거의 일정하나 비저항 값은 커다란 차이를 보이고 있다. Fig.10은 여과압력 및 농도를 일정하게 하고 fiber의 크기를 변화시켜 얻은 결과이다. 즉 fiber의 크기가 작을수록 공극율은 거의 변화가 없으나 비저항값은 큰 폭으로 증가함을 알 수 있다.

4. 결론

여과 단위조작을 통하여 침·활엽수 펄프는 고해도를 변화시키고 비목재 섬유 슬러리는 입자크기를 달리 한 후 각각 정압여과 실험을 행하고 여과시간에 따른 여액량과 여과속도를 측정하여 여과 비저항 및 공극율을 측정 한 결과는 다음과 같다.

- 1) 일정여과시간에서의 고해도변화 즉, 여수도값이 증가할수록 여과액량이 증가한다.
- 2) 여액량에 따른 여과속도의 역수를 취한 그림에서의 여과기간내의 직선의 기울기를 구함으로써 여과제 특성치인 평균 여과비저항 및 공극율을 간단하면서도 정확하게 계산할 수 있었다.
- 3) 여수도 값의 증가에 따라 비저항 값은 감소하며 Sw-BKP의 저항값이 Hw-BKP보다 큰 값을 나타내었다.
- 4) 일정 여과시간에서 여과실험을 행한 경우 Fiber의 입자 크기가 클수록 여액량이 증가하였으며 공극율은 증가하고 비저항 값은 감소 하였다.

따라서 고해도 및 여과압력 변화에 따른 각종 펄프섬유의 비저항 및 공극율을 구함으로써 초지공정에서의 백수내의 미세섬유량과 각종 첨가제의 손실에 따른 생산비용을 절감 할 수 있으며 그 내부적 매카니즘을 규명하고 보다 효율적인 여과조작 공정을 위한 기초 DATA로서 활용 될 수 있다고 사료된다.

참고 문헌

1. Bennet.C.O. and Meyer. J.F. (1982): Momentum and Heat Transfer, 3rd edn, McGraw-Hill New York, Ch.15. p.224

이에 따른 여과특성치를 간단히 구할 수가 있다. Fig.8은 여과압력 및 농도를 일정하게 하고 Kenaf fiber를 20,40,60mesh 통과분 3종류를 사용하여 여과 실험을 행한 결과로서 일정 여과시간에서 입자가 클수록 여액량이 증가 함을 알 수 있었다. Fig.9는

목재펠트 및 비목재 섬유 의 여과제 특성에 관한 연구

2. Britt. K.W., Unbehend. J.E and Sridharan. R, (1986): Tappi. J.69(7), 76
3. Ingmanson, W.L. (1952): Tappi J. 35(10), 439
4. Ingmanson, W.L. and Whitney. R.P (1954): Tappi J. 37(11), 523
5. Pires. E.C, Springer. A.M and Kumar. V(1989): Tappi. J.72(7), 149
6. Shirato, M., T. Aragaki, R. Mori and K. Sawamoto (1968): J. Chem. Eng. Japan, 1, 86
7. Shirato, M.,T. Aragaki,E.Iritani (1980): J. Chem. Eng. Japan, 13, 61
8. Shirato, M.,T. Aragaki, E. Iritani, M. Wakimoto, S. Fujiyoshi and S. Nanda (1977): J. Chem. Eng. Japan, 10, 54