

고순도 Polymer 방사기계 필터 시스템 최적설계 기술 개발에 관한 실험적 연구

오태훈* · 김창식* · 송동주**

A Experimental Study of Optimum Filter System Design of High Purity Polymer Thread Machine

T.H. Oh, C.S. Kim, D.J. Song

Key Words : Lubrication System(윤활계통), Metal Fiber Filter(금속섬유필터), Filtering Area(필터면적), Pressure Drop(압력강하), Darcy Equation

Abstract

Predicting a pressure drop between inlet and outlet of the filter system is essential in designing the optimum filter system. This experiment has been carried out to investigate several design parameters which influence in a pressure drop, such as different tube length and metal fiber filter mesh size. A 1/50 scale filter system was made to simulate a real filter system. Results are compared with Darcy equation for a porous media.

기호설명

- ρ : 유체 밀도
- v : 유체 속도
- d : 유체가 통과하는 파이프의 직경
- μ : 유체 점도
- Q : 유량
- A_w : 필터링 면적

1. 서론

기체나 액체 중에 부유하는 입자를 제거 및 분리하는 매체를 필터라 말하며 디스크나 카트리지 형태, 필터케이스, 유량계, 압력 기기 등으로 구성된 여과 공정 시스템을 이용하여 입자를 분리 또는 제거하고 있다. 이러한 여과 공정의 개념은 가압하거나 진공흡입 방법으로 작동 유체를 필터 케이스 내부로 유입 시키고 필터케이스에 장착된 슬릿지와 금속 마모입자 등에 의한 액상 및 고체상의 불순물을 함유하며, 이러한 불순물들은 계속적

으로 증가되어 진다. 이들 불순물은 윤활시스템에서 윤활 성능의 저하와 기계 요소의 파괴 현상을 가속화 시키므로 윤활유 및 기계시스템의 수명 감소에 직접적인 원인이 된다.

이러한 문제점을 개선하기 위해 보다 성능이 우수한 윤활제와 기계요소의 재질 및 설계 등의 변수들이 고려되나 많은 시간과 경비가 요구되기 때문에 일차적으로 여과 성능이 우수한 필터 시스템에 장착 함으로서 초미립자를 포함한 오염 입자 제거가 가능하다. 그 결과 윤활유와 기계요소의 수명 연장, 효율 향상 등에 의한 보수 유지비의 감소, 원가와 에너지의 절감 등 경제적으로 크게 기여 할 수가 있다.

국내에서 사용되고 있는 필터의 종류는 용도나 재질에 따라서 여러 가지 형태의 필터가 사용되고 있다. 그 중 금속 섬유 필터는 종래의 종이 및 polyester 필터의 폐기과정에서 문제가 되고 있는 폐기물 공해를 없앨 수 있다는 특징이 있다. 이러한 필터는 미세한 포어(pore)를 이용하여 미세한 입자 크기까지 제거가 가능하며 발전소 등에서 윤활유 필터, 정유 산업, 화석 산업, 의학 및 식품 산업 등에 광범위하게 사용되고 있으며, 향후에는 소각로의 분진 집진 장치, 디젤 엔진용 particulate

* 영남대학교 대학원 기계공학부

** 영남대학교 기계공학부

trap 등에서까지 응용 범위가 확대 될 전망이다. 이러한 금속 섬유용 재료로서는 stainless steel 등이 사용되고 있으며, 직경이 10~25 μm 정도의 금속 섬유가 주로 사용되고 있다. 이러한 금속 섬유는 mat 형태로 성형 된 후 소결 및 압연 공정에 의해서 filtering media 로 제작된다. 금속 섬유의 제조 기술은 1940 년대 미국의 Everelt 에 의해 bundle drawing 이 알려지면서 개발되었으며, 미국, 일본, 벨기에 등에서 금속 섬유의 제조 및 이를 이용한 filter media 가 생산되고 있다. 현재 국내에서는 금속 filtering media 를 일본, 미국, 유럽에서 전량 수입하고 있는 실정이며 단지 절단, 절곡, 용접 등 후처리 등 제작공정에 초점 후 여과 장치를 제작하고 있다. 이는 국내의 필터 제조업체들이 중소기업규모로서 체계적인 연구 개발이 이루어지지 않고 있기 때문이다. 이러한 제조 기술력 및 설계 기술은 대부분 외국에서 수입되고 있는 실정으로서 국내 자체 제작 능력 및 설계 기술에 대한 능력이 절실히 요구되고 있다. 본 연구에서는 Polyester 계통의 여과용 금속 섬유 필터와 여과 장치를 자체 설계 할 수 있는 기술력을 확보하고자 한다. 필터의 용량, 유량, 다양한 점도의 작동유체, 필터의 형상, size 및 mesh 크기 등이 필터의 전후에 미치는 압력 강하, 손실 계수에 미치는 영향을 실험적인 방법으로 연구 함으로서 최적 필터 시스템의 설계, 기술 및 자료 확보에 그 목적이 있다. 본 실험에서는 이러한 파라미터의 영향에 대하여 민감도 해석을 수행하였다.

2. 실험 장치 및 방법

실험을 위해 실제로 사용되어지고 있는 필터 시스템을 1/50 축소한 Filtering 장치를 설계 제작하였다. 본 실험 장치는 실험장치는 유탄유를 filtering 하는 장치와 모터, 펌프를 제어하는 제어반 그리고 자료획득장치로 나누어 진다.

그림 1은 두 대의 압력용기에 각각 길이와 지름이 다른 필터들을 장착, 제어반의 인버터로 조절되는 모터와 펌프와 자료획득장치 등 전체 시스템의 개략도를 보여주고 있다.

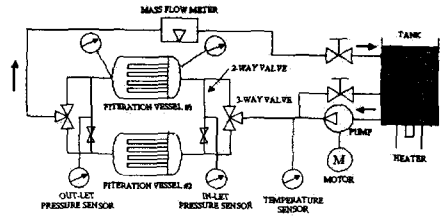


Fig.1 Schematic diagram of Filter System

그림 2는 Filtering 장치를 나타내며 두 대의 압력용기에 각각 길이와 지름이 다른 필터들이 장착될 수 있다. 그래서 필터의 수를 조절하여 Filtering Area를 변화 시키며 압력 측정 장치로 압력용기 전후의 압력 강하를 측정 할 수 있다.

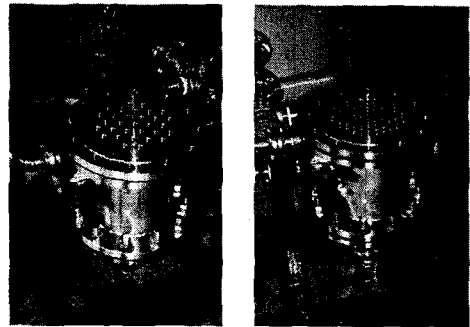


Fig.2 Filtering device

그림 3은 자료획득장치와 제어반의 개략도로서 압력 측정 장치에서 측정된 전기 신호를 제어해서 PC로 Data를 처리하는 것을 보여주고 있다.

본 실험에서는 압력강하에 대해 필터들의 겉넓이 (A_w), 즉 filtering 면적의 영향이 중요한 요소 가운데 하나이므로 필터의 개수(filtering 면적)를 변화시키면서 압력차를 측정하고자 한다.

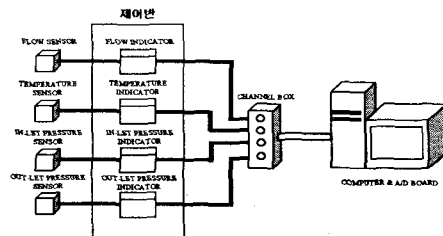


Fig.3 Schematic Diagram of Data Acquisition System

Table 1 은 이 실험에 사용된 필터들의 종류와 개수를 나타낸다.

Table 1 Filter specifications

Mesh Size [μm]	Length [mm]	Filtering Area [mm^2]
10	138	10838.49
	192	15079.64
	246	19320.79
5	246	19320.79
60	246	19320.79

Table 2 는 실제 폴리머 방사기계 필터시스템 작동 조건과 실험 조건을 나타낸다.

Table 2 Actual condition and experimental condition

	실제 조건	실험 조건
유 량 [m^3/hr]	700	0 ~ 8
온 도 [$^{\circ}\text{C}$]	200	40
최대필터 압력차 [BAR, $\text{kg.f}/\text{cm}^2$]	0.5	0.5

3. 실험 결과

3.1 데이터 처리를 위한 무차원 변수의 정의

실험에서 측정될 변수는 필터시스템을 장착한 압력용기 전후의 압력강하이다. 압력강하에 영향을 줄 수 있는 파라미터를 고려하여 함수관계로 나타내면 다음과 같다.

$$\Delta p = f(\rho, v, d, \mu, Q, A_w)$$

파이정리를 통하여 Δp 에 대한 함수는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\frac{\Delta p}{0.5\rho v^2} = F\left(\text{Re}_d, \frac{A_w}{d^2}\right)$$

$$\text{여기서 } \text{Re}_d = \frac{\rho v d}{\mu}$$

위와 같이 무차원 함수를 유도해 냄으로써 우리는 $\Delta p/0.5\rho v^2$ 에 영향을 주는 요소로 2 개의 무차원 독립 변수 그룹을 얻어 낼 수 있고, 이러한 두가지의 변수에 대해서 실험을 수행하였다.

3.2 필터형상과 mesh 크기에 따른 압력강하

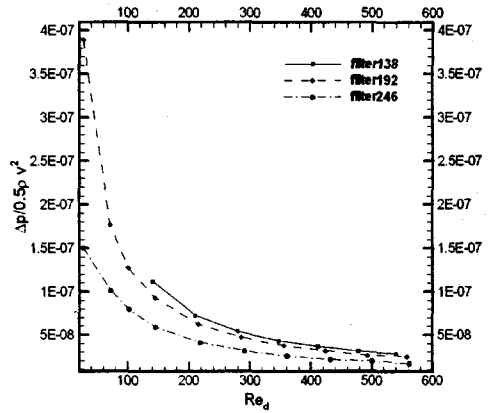


Fig.4 Non-dimensional pressure drop ($\Delta p/0.5\rho v^2$) vs Reynolds number (Re_d)

그림 4 는 필터의 길이가 거의 동일한 조건에서의 필터 형상에 대한 Re_d 수에 따른 무차원 압력강하($\Delta p/0.5\rho v^2$)를 나타낸다. Re_d 수가 증가하면 할수록 무차원 압력강하($\Delta p/0.5\rho v^2$)는 거의 일치함을 알 수 있다. 이는 필터의 길이 즉 필터의 형상 파라미터가 압력강하에 큰 영향을 미치지 않음을 뜻하며 큰 영향을 미치는 변수는 무차원 filtering area (A_w/d^2)임을 알 수 있다.

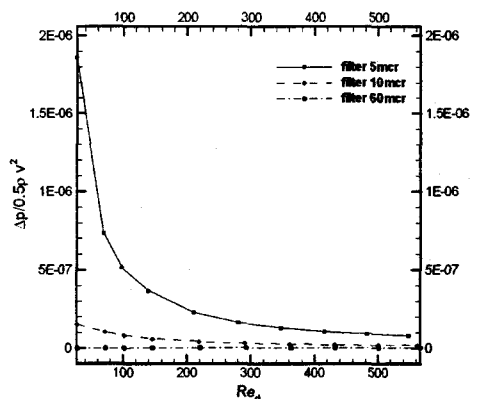


Fig.5 Non-dimensional pressure drop ($\Delta p/0.5\rho v^2$) vs Reynolds number (Re_d)

그림 5 는 mesh 크기가 같은 필터에 대한 Re_d 수에 따른 무차원 압력강하($\Delta p/0.5\rho v^2$)를 나타낸

다. 여기에서는 같은 Re_d 수에서 mesh 크기가 작을수록 압력강하가 높음을 알 수 있다.

3.2 필터 시스템에 대한 Darcy 방정식

$$\text{Darcy 방정식 : } \Delta p = K \frac{\mu Q}{A_w}$$

Darcy Equation 을 보면 필터 시스템 같은 다공 물질(porous media)을 통과한 압력강하는 점성계수와 유량에 비례하고, 다공물질의 걸면적 A_w 에 반비례함을 알 수 있다. 이것은 실험에서 필터를 사용한 경우와 유사한 것을 알 수 있으며 실험결과를 통하여 상수 K의 값을 얻을 수 있다.

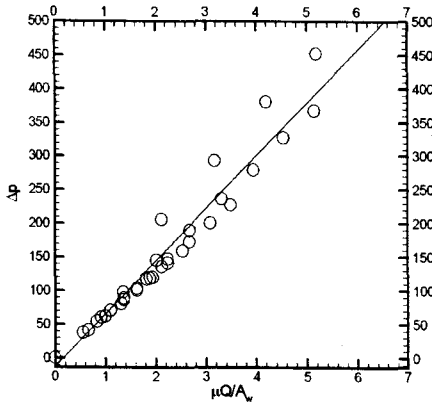


Fig.6 Δp versus $\mu Q/A_w$ for Filter138, mesh size of $10 \mu m$

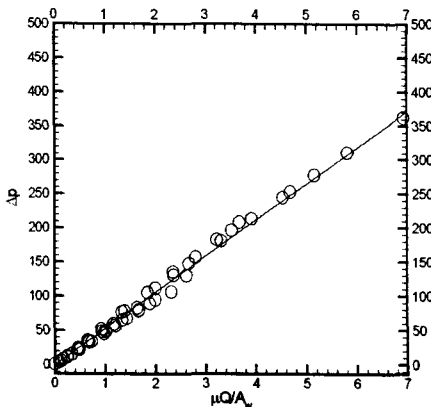


Fig.7 Δp versus $\mu Q/A_w$ for Filter192, mesh size of $10 \mu m$

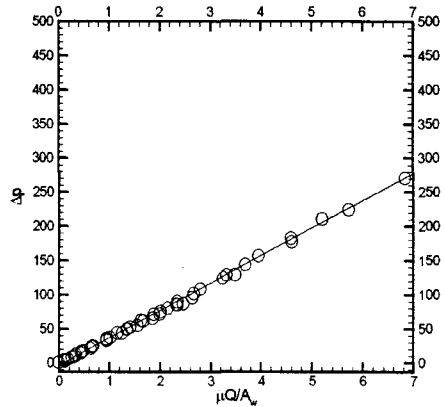


Fig.8 Δp versus $\mu Q/A_w$ for Filter246, mesh size of $10 \mu m$

그림 6 에서 그림 8 까지는 동일한 mesh 크기에서 필터의 형상(필터길이)에 따른 저항계수 K 값을 최소자승법 curve fitting 방법에 의해서 얻을 수 있었다.

Filter138 에서의 실험식을 구하면,

$$\Delta p = 78.384 \times \frac{\mu Q}{A_w}$$

작동 유량의 유효 범위 : $1.7 \sim 7.9 [m^3/hr]$

단위로는 Δp 는 $[kPa]$, μ 는 $[kg/ms]$, Q 는 $[m^3/hr]$, 그리고 A_w 는 $[m^2]$ 이다.

Filter192 의 실험식은

$$\Delta p = 53.123 \times \frac{\mu Q}{A_w} \text{ 이고,}$$

Filter246 의 실험식은

$$\Delta p = 40.285 \times \frac{\mu Q}{A_w} \text{ 이다.}$$

여기에서 보는 바와 같이 필터의 면적에 따라 저항계수 K 값이 상당한 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 즉 필터길이가 길면 저항계수 K 값은 감소한다. 그러므로 필터의 걸면적(filtering area)가 저항계수 K 값의 결정에 영향을 미치고 압력강하에도 중요한 변수로 작용한다는 것을 확인 할 수 있었다.

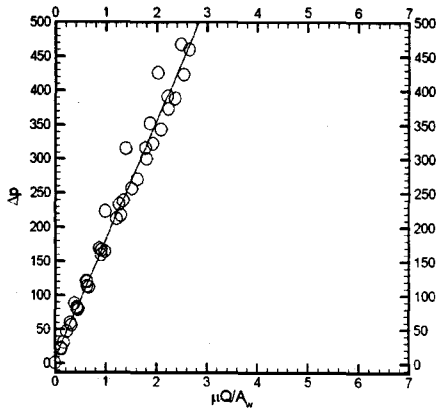


Fig.9 Δp versus $\mu Q/A_w$ for Filter 246, mesh size of $5 \mu m$

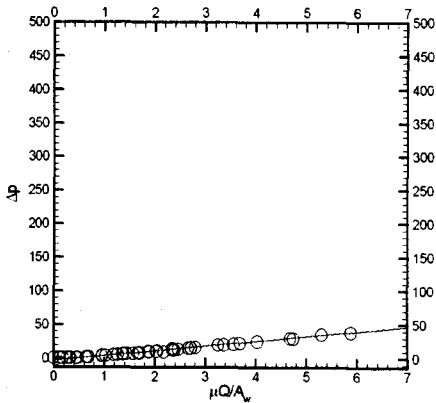


Fig.10 Δp versus $\mu Q/A_w$ for Filter 246, mesh size of $60 \mu m$

그림 9 와 그림 10 은 동일한 필터의 형상에서 mesh 의 크기에 따른 저항계수 K 값을 구한 것이다.

Mesh 크기 $5 \mu m$ 에서의 실험식은

$$\Delta p = 173.669 \times \frac{\mu Q}{A_w} \text{ 이고,}$$

Mesh 크기 $60 \mu m$ 에서의 실험식은

$$\Delta p = 7.1534 \times \frac{\mu Q}{A_w} \text{ 이다.}$$

여기에서는 mesh 의 크기에 따른 저항계수 K 값을 비교할 수 있다. 보는 바와 같이 mesh 의 크기가 작으면 저항계수 K 값이 상당히 높음을 확인

할 수 있다. 그러므로 mesh 의 크기가 저항계수 K 값의 결정과 압력강하에 영향을 미친다는 것을 실험적으로 확인 할 수 있었다.

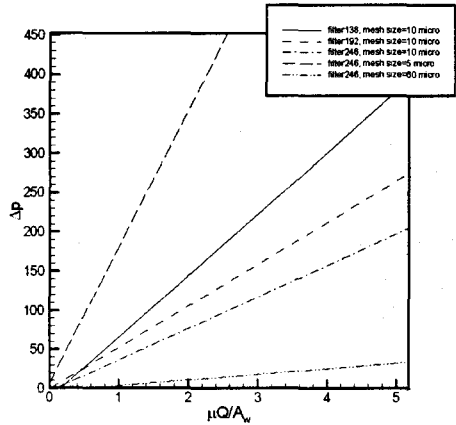


Fig.11 Δp versus $\mu Q/A_w$ as different length and mesh size of filter

그림 11 은 필터의 형상(필터길이)과 mesh 크기에 따른 저항계수 K 값을 종합적으로 표현한 것이다. Mesh 의 크기가 작아지면 저항계수 K 값이 급격히 증가함을 알 수 있다.

3. 결론

여러 가지 형상과 mesh 크기를 가진 필터들을 사용하여 실험한 결과 전체적으로 유량이 증가할수록 압력강하가 증가함을 알 수 있었고, 필터의 개수가 증가하면 압력강하는 감소하는 것이 확인 되었다. 그러나 Re_d 수가 증가하면 무차원 압력강하($\Delta p/0.5\rho v^2$)는 $1/Re_d$ 에 비례하여 감소함을 알 수 있었다. 그리고 필터의 형상 파라미터(필터길이)는 압력강하에 큰 영향을 미치지 않으며 무차원 filtering area(A_w/d^2)가 가장 중요한 변수임을 알 수 있었다. 압력강하는 Darcy 방정식에 따라 $\mu Q/A_w$ 에 비례하고 mesh 크기가 감소할수록 급격히 증가함을 알 수 있다.

후기

본 연구는 2000 년도 지역협력연구센터 지원 아래 연구되었으며 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

- (1) Purchas, D.B., 1967, Industrial of Liquids, *Leonard Hill Book*, pp.35~106.
- (2) Hobson, P.D., 1955, Industrial Lubrication Practice. *The Industrial Press*.
- (3) Svarovsky, L., 1981, Solid-Liquid Seperation, Butterworths, pp.472~489.
- (4) 권오관, 최용수, 1993, “고성능 필터 개발에 관한 연구”, 과학기술연구원.
- (5) 한유동, 1995, “여과용 금속 Fiber Filter 개발”, 한국기계연구원.
- (6) 부정숙, 서용관, 송동주, 김경천, 1996, 유체역학, 반도출판사, pp.480~494.
- (7) Schetz, J.A. and Fuhs, A.E., 1996, Handbook of Fluid Dynamics and Fluid Machinery, *Wiley Interscience*, pp.818~820
- (8) 김창식, 황현철, 김상덕, 송동주, 1999, “산업용 금속 섬유 필터 시스템 설계 기술 개발에 관한 연구”, 대한기계학회 춘계학술대회논문집 B, pp.339~344.