

## 윤활시스템용 오일필터로서 충전밀도 변화에 따른 자성폴리머 필터의 여과특성 연구

최기영\* · 안병길 · 최웅수 · 권숙인\* · 권오관

한국과학기술연구원 기전연구부

\*고려대학교 금속공학과

### A Study on The Filtration Characteristics of Magnetic Fibrous Polymeric Filter with Packing Density Profile as a New Oil Filter

K. Y. Choi\*, B. G. Ahn, U. S. Choi, S. I. Kwon\*, and O. K. Kwon

Division of Mechanical-Control, KIST

\*Department of Metallurgical Engineering Korea University

**Abstract**—The filtration of the magnetic fibrous polymeric filter with packing density profile made of a self-bonded, nonwoven structure comprising a thermoplastic polymer and a magnetic substance was investigated using an oil filter tester, a particle quantifier and an image analyzer system. The magnetic fibrous polymeric filter showed excellent filtration efficiency compared with conventional paper filter. From the experimental results, It is deduced that the filtration mechanism of conventional paper filter is only the function of physical porosity by surface filtration. On the other hand, the newly magnetic fibrous polymeric filter is designed with a new concept in filtration mechanism. That is, it has a dual function of depth and magnetic filters by physical porosity and magnetic attraction. The newly magnetic fibrous polymeric filter has been shown to be a highly effective oil filter for lubrication systems.

### 1. 서 론

자동차를 비롯하여 항공기, 기관차, 선박 등의 내연기관과 유압기어장치 등의 산업용 윤활시스템의 운전시 각종 트리보요소(tribo-elements)로부터 마모입자가 발생하는 것은 마모 메카니즘에 기인된 결과이며, 작동시간이 지남에 따라 마모입자는 계속적으로 증가된다. 이때 발생하는 마모입자의 크기는 1 $\mu$ m 이하의 미세입자에서 수백  $\mu$ m 이상의 큰 입자들로 광범위하게 나타나며, 발생된 마모입자의 약 80% 이상이 철계입자(ferrous wear particles)로 구성되어 있다. 윤활 시스템 설계시 최적유효를 위해 설정되는 유막두께보다 큰 마모입자들이 존재할 경우, 윤활시스템의 갑작스런 고장 및 치명적인 파멸을 초래하는 jamming 현상과 마찰표면 손상 등이 펌프, 밸브 등에서 발생될 수 있다. 점진적인 유효성능 저하에 따른

시스템의 파손은 특히 실린더 등에서 발생되며, 이는 유막두께보다 작은 마모입자에 의해 기인되나 이러한 마모진행은 결과적으로 시스템의 파멸(failure)현상을 유발시킨다. 그 이유로서 윤활시스템에서 발생하는 마모입자들이 제거되지 않은 상태로 존재할 경우 트리보요소의 마모, 시스템의 clogging 및 jamming 현상을 가속화시키며 그 결과 각종 윤활시스템의 유효성능저하 및 파멸현상을 초래한다. 따라서 윤활시스템의 최적유효를 유지하기 위해 발생하는 마모입자들의 제거가 반드시 필요하며, 이를 위해 오일필터의 역할이 매우 중요하다[1-4].

일반적으로 필터는 윤활시스템의 유로에 설치되어 윤활유에 함유되어 있는 마모입자 등의 불순물을 제거할 수 있는 중요한 요소부품의 하나로 우수한 여과성능 및 낮은 압력손실 등의 제특성을 지닐 경우, 윤활시스템의 유효향상 및 내구성 등과 아울러 보수

유허비 및 에너지 절감효과 등의 경제성에 크게 기여할 수 있다[1,2].

현재 전세계적으로 오일필터는 크라프트 또는 린터펄프에 열경화성 수지를 함침시켜 제조된 종이필터(paper filter)가 광범위하게 사용되고 있으며, 이의 여과 메카니즘은 단지 기공(physical porosity)에 의한 표면여과 기능만을 지닌다. 또한 평균기공은 30~40  $\mu\text{m}$ 으로 10  $\mu\text{m}$  이하의 작은 마모입자 여과효율은 매우 낮으며, 평균 여과효율은 80~90% 정도이다. 특히 마모입자 등의 불순물이 많이 존재할 경우, 여과시 높은 압력차를 유발시키는 clogging 현상이 초래되며 이러한 clogging 현상에 의해 여과시 유허유가 역류 및 by-pass 됨으로서 여과효율은 더욱 감소된다. 그 결과 여과되지 않은 마모입자 등의 불순물들이 유허시스뚛에 유입되는 문제점을 안고 있다[2,5,6].

상기 언급된 기존 종이필터의 문제점을 해결하기 위해 새로운 오일필터로서 우수한 여과특성을 지닌 자성폴리머 필터를 개발하였다. 이는 열가소성 수지와 자성체로 구성된 미세섬유들이 spun-bond에 의한 부직구조(nonwoven structure)를 지니므로 기존의 종이필터와 다른 여과 메카니즘을 나타낸다. 즉 내부기공에 의한 심층여과필터(depth filter)[2]와 자력에 의한 자성필터(magnetic filter)[7]의 두기능을 지니므로 마모입자 등의 불순물을 효과적으로 제거할 수 있다.

그러므로 본 연구에서는 새로운 오일필터로서 자성폴리머 필터의 제특성인 여과 및 압력특성 등을 고찰함으로써 실제 유허시스뚛에 적용을 위한 기초 자료를 얻는데 그 목적이 있다.

## 2. 실험

### 2-1. 필터소재

유허시스뚛에 사용되고 있는 오일필터는 내열성, 유허유와의 저항성, 강도, 내압력성 및 여과성능 등의 물리적 제특성이 요구되므로 필터소재 선정시 고려되어야 한다[3]. 현재 유허시스뚛에 광범위하게 사용되고 있는 종이필터보다 여과 및 압력특성 등의

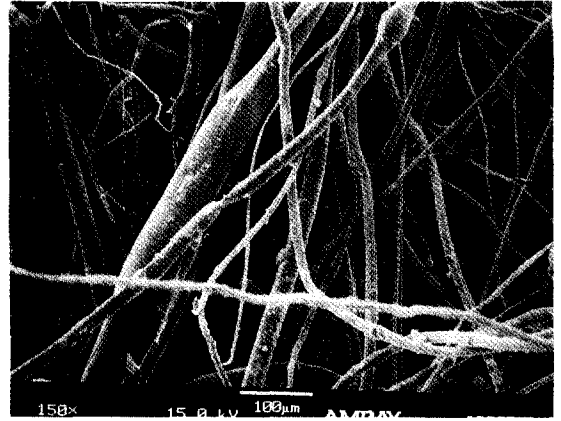


Photo. 1. Microstructure of magnetic polymeric filter (front side)

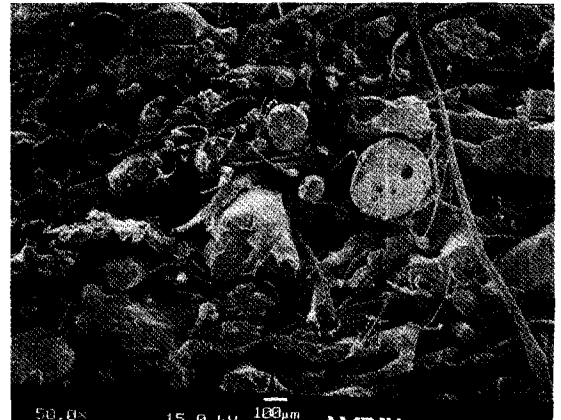


Photo. 2. Microstructure of magnetic polymeric filter (up side)

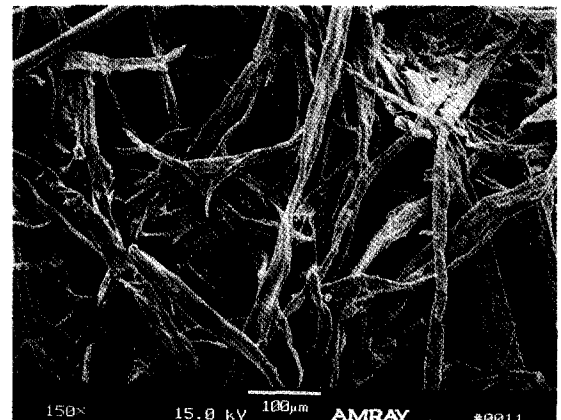


Photo. 3. Microstructure of paper filter

Table 1. Comparisons of filtering area and bulk

	Magnetic filter	Paper filter
여과면적( $\text{cm}^2$ )	110	865
여과체적( $\text{cm}^3$ )	129.53	43.25

제특성이 우수한 오일필터로 자성폴리머 필터를 개발하였으며, 이는 열가소성 수지와 자성체로 구성되어 있다.

열가소성 수지 중 내열성이 우수한 고분자재료로는 폴리아미드(polyamide), 폴리이미드(polyimide), 폴리에스테르(polyester) 및 폴리테트라플로르에틸렌(polytetrafluoro ethylene) 등이 있으나 경제성, 물리적 제특성 및 압출 용이성 등을 고려하여 칩(chip)상의 폴리아미드를 사용하였다. 자성재료는 스트론튬계 페라이트(strontium ferrite), 바륨계 페라이트(barium ferrite) 및 희토류 금속(rare earth metals) 등이 있으나 이 중  $1\mu\text{m}$ 이하의 크기를 지닌 분말상 바륨계 페라이트를 사용하였다. 이들을 일정비율로 혼합하여 미세섬유상으로 방사압출 시스템(pneumatic spray-spinning extrusion system)하에서 방사압출시켜 실린더 타입으로 성형한 후 자화기(Model: TEM-WV8 K-254)에서 자화시킴으로서 spun-bond의 부직구조(nonwoven structure)를 지닌 자성폴리머 필터를 제조하였으며, 종이필터와의 여과면적 및 체적의 비교 제원은 Table 1에 나타내었다. 자성폴리머필터와 종이필터의 구조를 비교하기 위해 전자현미경을 이용하여 조사되었으며 Photos 1, 2 및 3에 나타내었다. Photos 1 및 2는 자성폴리머필터의 미세구조로 방사압출된 필라멘트섬유들간의 용융결합에 의한 spun-bond상의 부직구조를 형성하고 있으며 충전밀도에 따라 기공의 차이가 존재한다. Photo 3은 종이필터의

미세구조로 제지공정에 의한 펄프섬유들간의 부직구조를 나타내고 있다.

## 2-2. 실험방법

자성폴리머 필터의 여과효율 및 압력손실 등의 물리적 제특성은 한국공업규격 B-9140 및 B-9316 방법에 준해 오일필터 시험기를 이용하여 조사되었으며, 이의 구조도는 Fig. 1에 나타내었다. 자성폴리머 필터는 충전밀도(packing density)를 0.14에서 0.20으로 변화시키면서 여과 시간, 자성의 유무 및 유속 등의 변수에 따른 물리적 제특성을 조사하였으며, 아울러 동일한 규격을 지닌 시판용 종이필터와도 비교 검토하였다. 자성폴리머 필터는 자성 이외에 기공을 지니기 때문에 기공의 변화에 따른 여과특성 및 압력손실 등의 제특성 차이가 존재하므로 충전밀도를 고려하여 제조 하였으며, 충전밀도는 아래 (1)식에 의해 계산되었다.

$$\beta = \frac{D_f}{D_m} \quad (1)$$

$\beta$ : 충전밀도,  $D_f$ : 필터의 겉보기 밀도,  $D_m$ : 필터소재의 밀도

여과시험에 사용된 오염입자는 환원철 분말을 사용하였으며, 이의 평균입자크기는  $5.6\mu\text{m}$ 으로 입자분포는 Table 2에 나타내었다. 여과효율은 여과된 유

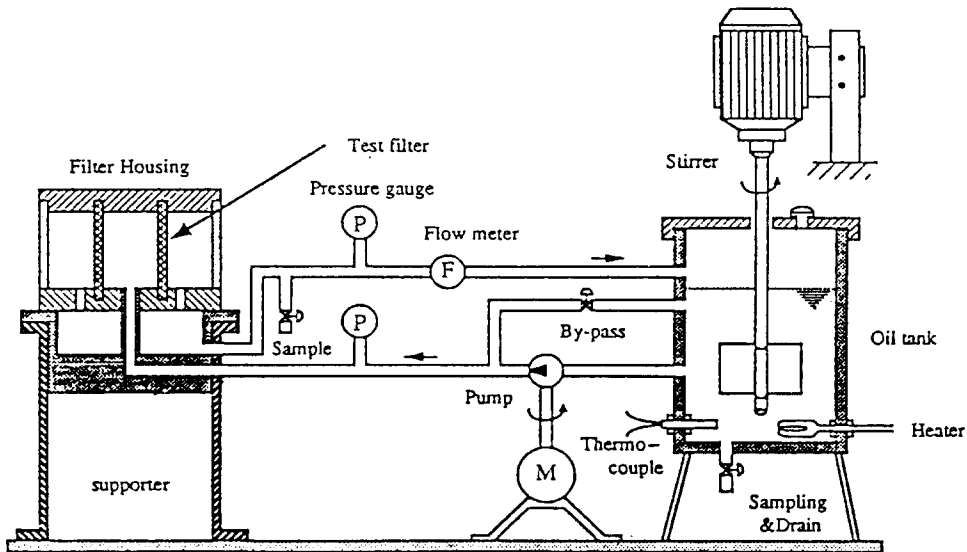


Fig. 1. Schematic diagram of oil filter tester.

**Table 2. Contamination particle distribution**

Particle distribution				Mean particle size(μm)
1~5 μm	6~10 μm	11~15 μm	15 μm 이상	
61.3%	28.8%	4.9%	5.2%	5.6

**Table 3. Magnetic performance of magnetic polymeric filters with packing density**

Packing density(g/cm <sup>3</sup> )	0.14	0.16	0.18	0.20
Average magnetic performance(gauss)	8	10	12	15

활유에 포함되어 있는 오염입자의 입자지수를 입자정량기(particle quantifier, Model: PQ 90, Analox Co., U. K.)로 측정하여 아래 (2)식에 의해 계산되었다.

$$\eta(\%) = \frac{I - I'}{I} \times 100 \quad (2)$$

여기서 η: 여과효율

I: 여과 전 윤활유에 함유되어 있는 오염입자 지수

I': 여과 후 윤활유에 함유되어 있는 오염입자 지수

여과 후 윤활유에 함유되어 있는 오염입자의 입자분포는 상분석기(image analyzer, Model Omnimet 1)을 이용하여 조사되었다. 그리고 실험에 사용된 충전밀도에 따른 자성폴리머 필터의 자력은 가우스미터(gauss meter)를 이용하여 측정하였으며, 그 결과는 Table 3에 수록하였다.

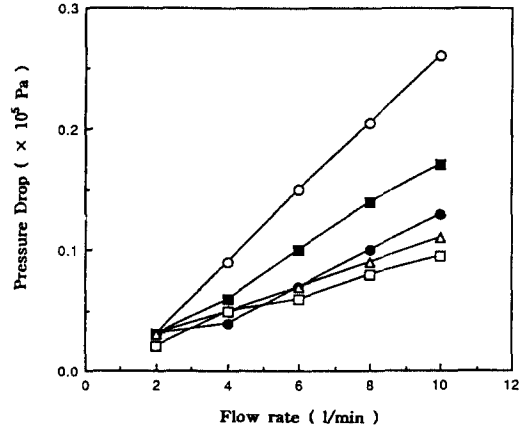
### 3. 결과 및 고찰

방사압출 시스템에서 제조된 자성폴리머 필터의 충전밀도를 0.14에서 0.20으로 변화시키면서 유속, 여과시간 및 자성의 유무 등의 변수에 따른 물리적 제특성을 조사하였으며, 아울러 종이필터와도 비교 검토하였다.

#### 3-1. 유속의 영향

자성폴리머 필터의 충전밀도 변화에 따른 투과성(permeability)을 조사하기 위해 유속을 변화시키면서 압력손실을 측정하였다.

상기 실험은 자성폴리머 필터의 자성을 고려하지 않고, 단지 기공에 의한 윤활유의 투과성을 위해 오



**Fig. 2. Effect of the flow rate on the pressure drop.**  
●; paper filter, ○; P.D. 0.20, ■; P.D. 0.18, △; P.D. 0.16, □; P.D. 0.14

염입자가 무첨가된 윤활유 SAE 30, 유온 80℃ 하에서 행해졌으며 이의 결과는 Fig.2에 도시하였다. Fig.2에서 보는 바와 같이 유속이 증가함에 따라 모든 필터들의 압력손실은 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이 중 0.18 및 0.20의 충전밀도를 갖는 자성폴리머 필터는 종이 필터보다 높은 압력손실을 보인 반면 0.16 및 0.14의 충전밀도를 지닌 자성폴리머 필터는 종이 필터보다 낮은 압력손실을 나타내고 있다.

종이필터의 평균기공은 30 μm이며 자성폴리머필터의 경우 충전밀도 0.20 및 0.18은 20 μm, 25 μm으로 종이필터보다 기공이 작으나 충전밀도 0.16 및 0.14는 35 μm, 40 μm으로 종이필터보다 기공이 크다. 그결과 자성폴리머필터의 충전밀도가 증가함에 따라 압력손실이 증가되며 이는 필터의 기공성에 기인된다.

#### 3-2. 여과시간에 따른 영향

충전밀도(0.14~0.20)를 변화시키면서 자성폴리머 필터의 여과시간에 따른 여과효율은 윤활유 SAE 30, 유온 80℃, 유속 3l/min 및 오염입자 첨가량 1g/hr의 조건하에서 오염된 윤활유를 10시간동안 순환시키면서 조사하였다. 필터를 통해 여과된 윤활유를 샘플링하여 필터의 여과효율(%) 및 윤활유에 함유된 오염입자의 입자분포 등을 분석하였으며 Figs. 3, 4에 도시하였다. 이외에 입출력의 압력변화에 따른 압력손실은 여과시험 중 2시간마다 측정하여 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 3은 10시간동안 여과시험 후 샘플링된 윤활유에 함유되어 있는 오염입자지수를 입자정량기

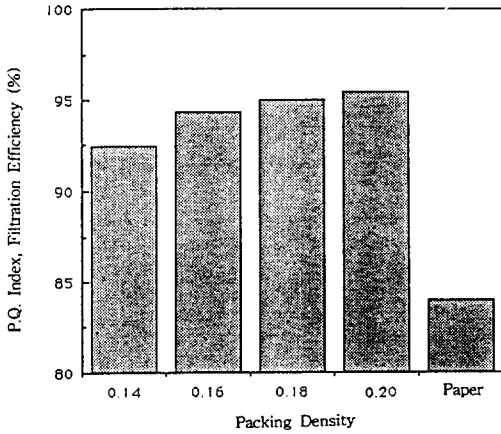


Fig. 3. Effect of the packing density on the filtration efficiency.

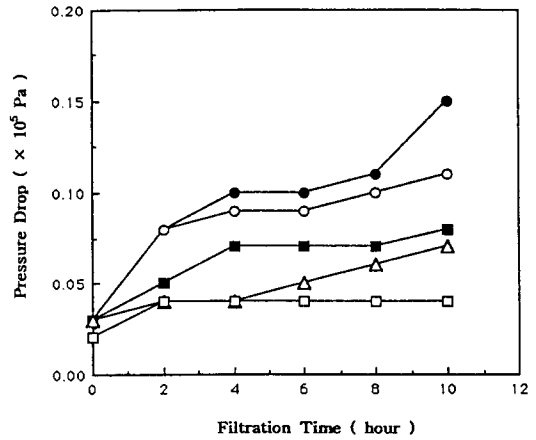


Fig. 5. Variation of pressure drop with filtration time. ●; paper filter, ○; P.D. 0.20, ■; P.D. 0.18, △; P.D. 0.16, □; P.D. 0.14

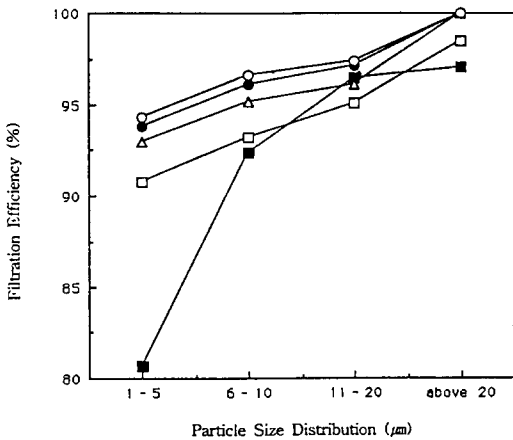


Fig. 4. Variation of filtration efficiency on particle size distribution. ●; paper filter, ○; P.D. 0.20, ■; P.D. 0.18, △; P.D. 0.16, □; P.D. 0.14

로 측정하여 (2)식에 의해 계산된 여과효율을 나타낸 것이다. 자성폴리머 필터의 충전밀도가 증가할수록 여과효율은 증가하였으며, 모든 자성폴리머 필터는 약 90% 이상의 여과효율을 지닌 반면, 종이필터의 경우 약 85%의 여과효율을 보여주고 있다. 특히 충전밀도 0.14 및 0.16의 경우 종이필터보다 기공이 크나 여과효율은 높은 값을 지닌다. 이는 자성폴리머필터의 자성의 영향에 그 원인이 있다.

실험결과 충전밀도의 변화에 따라 제조된 모든 자성폴리머필터는 기존의 시판용 종이필터보다 높은

여과효율을 보여주고 있다. Fig.4는 여과시험 후 여과된 윤활유에 함유되어 있는 오염입자의 입자분포별 여과효율을 나타낸 것이다. 모든 자성폴리머필터는 5 μm 오염입자의 여과효율이 90% 이상을 보여주고 있는 반면, 종이필터의 경우 5 μm 오염입자의 여과효율은 80% 정도를 나타내고 있다. 따라서 자성폴리머 필터는 윤활시스템하에서 5 μm 이상의 미세입자 제거가 용이하며, 그 결과 종이필터보다 여과효율이 우수하다.

여과시험 중의 압력손실을 2시간마다 측정하여 Fig. 5에 나타내었으며 Fig.5에서 보는 바와 같이 자성폴리머 필터의 충전밀도가 증가할수록 압력손실은 증가하였다. 이는 필터의 기공에 의존한다. 특히 기존의 종이필터는 여과시간이 지남에 따라 압력손실이 증가하였으며, 8시간 후에는 급격히 증가하였다. 이러한 차이는 Fig.2에서 나타나듯이 0.18 이상의 자성폴리머 필터가 종이필터에 비해 낮은 기공율을 지니고 있으나 종이필터와는 다른 여과메카니즘에 기인된 것이다. 즉 종이필터는 표면여과방식에 의해 여과면적이 필터표면에 한정되어 일정 이상의 오염입자를 축적할 공간이 작으므로 필터의 압력손실이 증가되는 반면, 자성폴리머 필터는 내부심층여과방식에 의해 많은 트랩을 지니고 있어 상당한 양의 오염입자를 축적할 수 있으므로 압력손실의 급격한 증가는 발생되지 않는다. 따라서 압력손실은 필터의 내구성에 밀접한 영향을 미치므로 자성폴리머필터는 기존의 종이필터보다 내구성이 우수함을 알 수 있다.

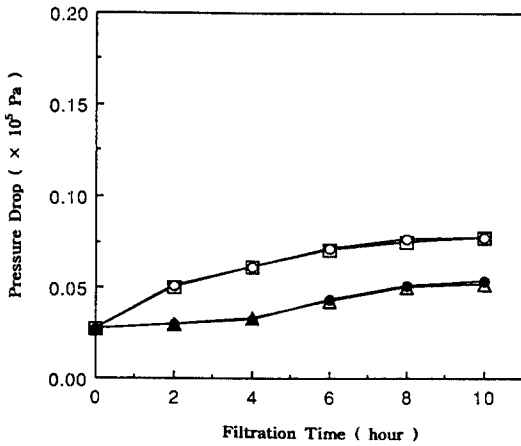


Fig. 6. Effect of filtration time with magnetizing and non-magnetizing on the pressure drop. □; P.D. 0.18 Mag., ○; P.D. 0.18, Non-mag., △; P.D. 0.16, Mag., ●; P.D. 0.16, Non-mag.

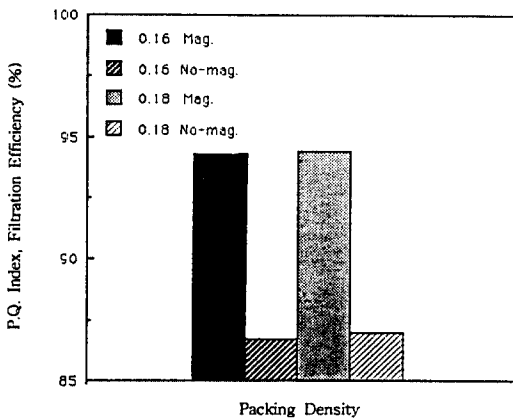


Fig. 7. Comparison of filtration efficiency of magnetized polymeric filters with magnetizing and non-magnetizing.

### 3-3. 자성의 영향

자성폴리머 필터의 자성유무에 따른 여과효율을 조사하기 위해 충전밀도 0.16, 0.18를 갖는 자화 및 비자화된 자성폴리머 필터들의 여과시험을 행하였으며, Figs. 6, 7에 도시하였다. Fig. 6은 자화 및 비자화된 자성폴리머 필터의 압력손실을 나타낸 것으로 자화 및 비자화된 자성필터는 유사한 압력손실 경향을 나타내고 있으며, 이는 각 충전밀도에 따라 동일한 기공성에 기인된다. Fig. 7은 여과효율을 나타내는 것으로 자화된 자성폴리머 필터가 비자화된 필터보다 약 7% 이상 높은 여과효율을 나타내고 있다. 그 이유는

자성폴리머 필터가 약한 자성을 지닐지라도 마찰, 마모 메카니즘에 의해 생성되는 금속 마모입자들이 자성을 띄므로 필터에 쉽게 축적될 수 있기 때문으로 사료된다.

## 4. 결 론

본 연구는 운환시스템용 오일필터로서 개발된 자성폴리머 필터의 충전밀도에 따른 여과 특성을 조사하기 위해 유속, 여과시간 및 자성유무 등의 변수를 변화시키면서 실험실적 방법으로 행해졌으며 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 자성폴리머 필터의 충전밀도가 증가함에 따라 여과효율 및 압력손실은 증가하는 경향을 나타내고 있으며, 특히 0.14 및 0.16의 충전밀도를 갖는 자성폴리머필터는 기존의 종이필터보다 여과효율이 높다. 이는 자성폴리머필터의 기공성 및 자성의 영향에 그 원인이 있다.

2. 동일한 충전밀도를 지닌 자화 및 비자화된 자성폴리머필터의 압력손실은 동일한 경향을 나타내고 있으나 여과효율은 현저한 차이를 나타내었다. 이는 자성의 영향에 의존함을 알 수 있다.

3. 자성폴리머 필터는 기존의 종이필터보다 우수한 여과특성을 나타내고 있으며, 이는 다른 여과메카니즘에 기인된다. 즉 종이필터는 단지 기공에만 의존하는 표면여과방식인 반면 자성폴리머 필터는 기공(Porosity)과 자력(magnetic attraction)의 기능을 지닌 심층여과필터와 자성필터의 두기능을 지니기 때문이다.

따라서 개발된 자성폴리머 필터는 실제 운환시스템에 적용할 때 매우 효과적인 오일필터로 작용할 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

1. B. M. Verdegan and J. A. Stinson, "Interpretation of filter ratings for lubrication systems", Lub. Eng., Vol. 44, No. 5, pp. 424-430, 1988.
2. Clyde Orr, "Cartridge filtration", Filtration, Part II, Chapter 4, pp. 202-258, Marcel Dekker, Inc, New-York, 1979.
3. W. G. Nostrand, "Engine lubricating oil filtration", SAE Tech. Paper Series No. 740518, pp. 38-46, 1974.
4. W. R. Alexander and G. L. Shank, "Improving engine durability via filters and lubricants", SAE Tech. Paper Series No. 852126, pp. 65-80, 1985.

5. I. Yoshio and O. Shigeru, "Filtering material for oil and oil filtration", Japanese Patent 89199615
6. Chiampo Piero, "Lubricant filter with a paper filter element for internal combustion engines, provided with magnetised particles dispersed in the paper", European Patent 265389.
7. Max Baermann, "Magnetic filter", United States Patent 3,136,720.