

## 산업용 자성폴리머 필터소재의 여과특성 연구

안병길 · 최웅수 · 이용훈\* · 전용진\*\* · 권오관

한국과학기술연구원 기전연구부

\*신양화성(주) 기술개발부

\*\*혜전전문대학 공업화학과

## Filtration Characteristics of Magnetic Fibrous Polymeric Filter Elements for Industrial Lub-systems

B.G. Ahn, U.S. Choi, Y.H. Rhe\*, Y.J. Chun\*\* and O.K. Kwon

*Division of Mechanical-Control, KIST*

*\*Division of Technical Development, Shin Yang Co., Ltd.*

*\*\*Dept. of Ind. Chem., Hyejeon Junior College*

**Abstract**—The magnetic fibrous polymeric oil filter elements for industrial lub-systems were obtained by pneumoextrusion processing prepared from thermoplastic polymer (polyamide) containing a magnetic particulate filler (Ba ferrite), and treated subsequently in a magnetic fields. Using the standard laboratory oil filtration test rig, metallic particle quantifier and image analyser system, the dependence of filtration characteristics of the magnetic filter media on the parameters of porosity and magnetic properties was investigated. The pressure drops and efficiencies of lubricating filter elements were measured on the packing density and magnetised filler content of filter element. Also, the industrial lub-systems such as lubricant filters for gear test rig and electric discharge processing machine were used for testing the filtration characteristics of the magnetised filter elements. The magnetic fibrous polymeric filter material was shown to possess a highly filtration efficiency in filtering the fine ferrous particles with increasing the magnetic force of filter element. Therefore, it is expected that the magnetic fibrous polymeric filter material should be used for effective oil filters on the industrial lub-systems.

**Key words**—Magnetic Fibrous Polymeric Filter, Packing Density, Remnant Flux Density, Filtration Efficiency, Pressure Drop.

### 1. 서 론

유압기기, 기어 및 터빈시스템등과 같은 산업용 기계장치의 윤활시스템에 사용되는 윤활유는 산화물, 탄화물 및 금속마모입자 등의 불순물들을 함유하고 있으며, 이들은 가동시간과 함께 발생량이 계속적으로 증가된다. 산업용 기계장치의 윤활시스템에서 기계장치의 치명적인 파멸현상을 유발할 수 있는 금속마모입자들은 산업용 기계장치를 구성하는 피스톤 라이너, 기어, 베어링 및 펌프등과 같은 트리보요소로부터

터 발생되며, 대부분이 철계 마모입자(ferrous wear particle)로 구성된다.

산업용 기계장치의 윤활시스템에서 발생하는 금속마모입자들이 제거되지 않고 윤활시스템의 유로에 존재할 경우, 트리보요소의 마모, 눈막힘(clogging) 및 고장(jamming) 현상들을 가속화시키므로써 산업용 윤활시스템의 윤활성능을 저하시키고 궁극적으로는 요소부품을 파멸시키는 현상까지 초래할 수 있다. 산업용 기계장치의 윤활시스템에서 25  $\mu\text{m}$  이하의 금속마모입자들에 의한 기계장치의 급격한 파손은 거의 발

**Table 1. Physical properties of polyamide**

Melting point, (°C)	Estimated safe temp., (°C)	Specific gravity	Wet breaking tenacity, g/density	Resistance to wear
170-235	121	1.14	3.7-6.2	excellant

생되지 않으나 윤활시스템의 점진적인 기능저하에 따른 기계요소의 파손은 25  $\mu\text{m}$  이하의 금속마모입자, 특히 0.5-5.0  $\mu\text{m}$  크기의 미세 금속마모입자에 의해 발생된다[2]. 이러한 미세 금속마모입자들은 윤활부품의 마찰표면을 마모시켜 새로운 오염입자를 발생시킬 뿐 아니라 윤활시스템내의 윤활간격을 더 크게 넓힘으로써 밀봉(sealing) 부위에서의 유출량 또한 증가시킨다. 이러한 현상들이 펌프, 모터 및 실린더의 가동 효율을 감소시키고 필요 이상의 마찰열 또한 발생시키므로써 기계요소의 동력손실을 초래할 수 있다.

산업용 윤활시스템이 최적윤활 조건을 유지하기 위해서는 윤활시스템의 유로에 존재하는 미세한 금속마모입자의 제거가 반드시 필요하며, 그러한 목적을 위해 윤활시스템의 유로에 장착된 필터의 역할은 매우 중요하다[3,4]. 필터는 윤활시스템의 유로에 설치되어 윤활유내에 함유되어 있는 불순물들을 여과하는 중요한 요소부품중의 하나로 우수한 여과효율과 낮은 압력손실등을 지닐 경우, 윤활시스템의 효율향상과 내구성 연장을 기대할 수 있으며, 아울러 보수 유지비와 에너지의 감소효과등을 발생시키므로써 경제적 이익에 크게 기여할 수 있다.

필터에 있어서 압력손실의 증가없이 여과효율을 향상시키기 위해서는 필터소재와 불순물 사이의 화학적 또는 물리적 흡착력을 증대시키는 방안을 구상하여야 한다[5]. 산업용 윤활시스템의 경우 발생하는 불순물의 대부분이 철계 마모입자로 구성되므로 산업용 필터소재와 불순물 사이의 흡착력을 향상시키기 위해 자력을 이용하는 여과방법을 고안하였다. 일정량의 자성 재료와 고분자 재료가 혼합된 물질을 방사사출기(pneumatic extruder)로 방사하여 새로운 형태의 필터소재를 개발하였다. 개발된 자성폴리머 필터소재는 불순물 여과시 내부기공의 크기로 여과하는 심층여과(depth filtration) 방식과 자력에 의한 물리적 흡착력(physical adsorption)을 함께 지니므로 철계 마모입자의 여과시 이들을 효과적으로 제거할 수 있을 것으로 사료된다[6].

**Table 2. Physical and magnetic properties of barium ferrite**

Classification	Properties
-. Component, wt%	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	90.27
BaO	9.73
-. Compressed density, press 1 ton/cm <sup>2</sup>	4.93
-. Average particle size, $\mu\text{m}$	0.98
-. Moisture content, %	0.05
-. Magnetic properties	
Br (Gauss)	2402
BHC (Oe)	1752
JHC (Oe)	2697

본 연구는 개발된 자성폴리머 필터소재를 다량의 금속마모입자가 발생하는 산업용 기계장치의 윤활시스템에 적용시키기 위해 수행되었다. 먼저 자성폴리머 필터소재의 내부기공 크기와 자력세기의 변화에 따른 여과특성을 고찰하였으며, 아울러 산업용 윤활시스템인 기어시험장치와 방전가공기 등에 대한 적용 시험을 수행하므로써 자성폴리머 필터소재와 금속마모입자 사이의 물리적 흡착력에 대한 기초자료를 얻고자 하였다.

## 2. 실험

### 2-1. 필터소재 제조

산업용 윤활시스템에 사용되는 필터소재는 오일에 대한 저항성, 내열성, 강도, 내압력성 및 여과특성 등의 물리적 제특성이 요구되므로 필터소재용 고분자 소재 선정시 이를 고려하여야 한다. 고분자 소재중에서 내열성과 섬유 가공성이 우수한 소재로는 폴리아마이드(polyamide)와 폴리에스테르(polyester)[7] 등이 있으나 경제성과 기계적 성질 등을 고려하여 폴리아마이드를 고분자 소재로 선정하였으며, 선정된 폴리아마이드의 물성을 Table 1에 도시하였다.

자성 재료는 크게 oxide계(스트론튬계 페라이트, 바륨계 페라이트 등)와 alloy계(희토류 금속류)의 2 종류로 구분할 수 있다[8]. 본 연구에서는 평균입도가 0.98  $\mu\text{m}$ 인 바륨계 페라이트를 자성 재료로 선정하였으며, 선정된 바륨계 페라이트의 물성을 Table 2에 나타내

타내었다.

선정된 폴리아마이드와 바류계 페라이트를 일정비율로 혼합한 후, 방사압출시스템(pneumatic extrusion system)하에서 고분자 소재를 미세섬유상으로 방사시켜 실린더 형태의 시험용 필터소재를 성형하였다. 성형된 필터소재를 자화기(model:TEM-WV8K-254)에서 10 kOe의 자기장(magnetic field)으로 착자시켜 부직구조(non-woven structure) 형태를 갖는 산업용 자성폴리머 필터소재를 제조하였다. 착자가 완료된 필터소재의 잔류자속밀도(remnant flux density)를 측정기

(model:GAUSS METER TM-201)로 측정하였으며, 전자현미경으로 필터소재의 표면구조를 관찰하여 Photo. 1에 나타내었다. 전자현미경 사진에서 자성 재료가 첨가된 자성폴리머 필터소재는 섬유직경이 20-50 μm의 분포를 가지며 부직구조를 형성하고 있음을 관찰할 수 있다. 여과시험에 사용될 자성폴리머 필터소재는 바류계 페라이트 첨가량을 5, 10, 15, 20 wt%의 4가지로 변화시켜 제조하였으며, 그에 따른 잔류자속 밀도와 여과효율등의 변화를 고찰하였다.

여과시험에 사용된 모든 필터소재는 충전밀도(packing density)[9]를 고려하여 제조하였으며, 충전밀도는 아래 (1)식에 의해 계산되었다.

$$\beta = \frac{D_f}{D_m} \tag{1}$$

β : 충전밀도,  $D_f$  : 필터소재의 겉보기 밀도,  $D_m$  : 필터소재의 밀도

2-2. 실험방법

필터소재에 있어서 여과특성을 결정하는 중요한 요소중의 하나가 압력손실이며, 그러한 압력손실을 결정하는 요인은 필터소재의 평균기공 크기와 밀접한 관계가 있다. 각 필터소재의 평균기공 측정은 기공측정 장치인 Mercury Impulsemeter를 사용하였다.



Photo. 1. Microstructure of magnetic fibrous polymeric filter (×100), — 100 μm.

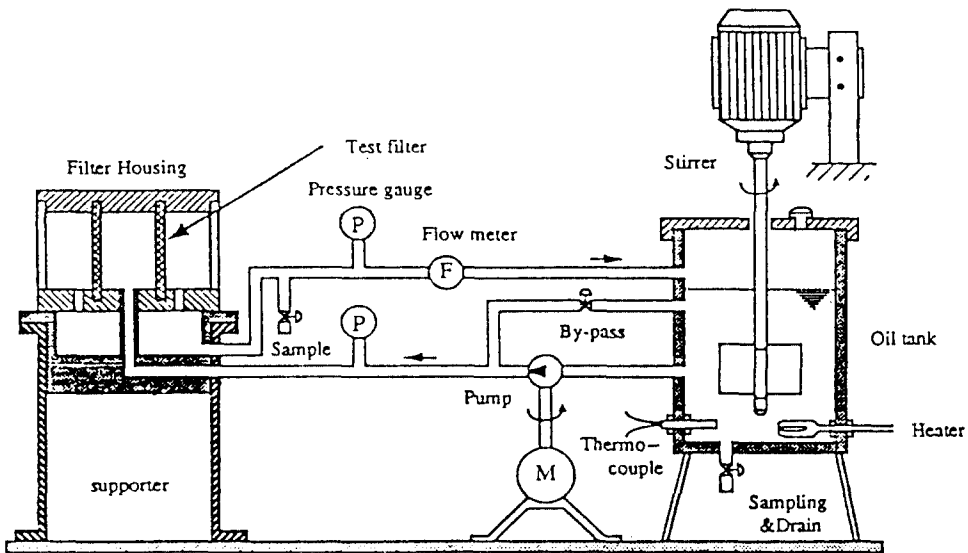


Fig. 1. The schematic diagram of oil filter tester.

자성폴리머 필터소재의 여과특성 시험을 위해 시험용 오일필터 시험기를 제작하였으며[10], 개요도를 Fig. 1에 도시하였다. 일정한 충전밀도하에서 바륨계 페라이트 첨가량을 변화시키며 제조한 자성폴리머 필터소재의 여과효율을 잔류사속밀도의 변화에 따라 측정하였으며, 아울러 압력손실도 측정하였다. 여과시험시 첨가되는 금속오염입자는 평균입자크기가 5.6 µm인 환원철 분말을 사용하였으며, 입도분포를 Table 3에 나타내었다. 시험용 오일필터 시험기에 의한 필터소재의 여과효율 계산은 일정량의 오일속에 함유되어 있는 오염입자를 입자정량기(particle quantifier, model : PQ 90, Analox Co. U.K.)의 오염지수로 측정하여 아래 (2)식에 의해 계산하였다.

$$\eta_1 (\%) = \frac{I - I'}{I} \times 100 \quad (2)$$

$\eta_1$  : 여과효율

$I$  : 여과 전 오일에 함유되어 있는 오염입자 지수

$I'$  : 여과 후 오일에 함유되어 있는 오염입자 지수

**Table 3. The particle distribution of contaminative ferrous particles**

Distribution				Mean particle size (µm)
1-5 µm	6-10 µm	11-15 µm	16 µm 이상	
61.3%	28.8%	4.9%	5.2%	5.6

산업용 기계장치에 적용하기 위해 기어시험장치와

**Table 4. Test conditions of the gear test rig**

구 분	조 건
사용 윤활유	Base oil (400 cSt)
유 량(liter)	3.0
하 중(kg · m)	5.5
치의 단위 길이당 하중(kg/m)	$1.0 \times 10^4$
속 도(rpm)	2,300
필터 통과 유량(liter/min)	2.0

**Table 5. Test condition of the electric discharge processing machine**

가공조건		가공상태			가공성능						
Pulse		Current			Arc level	전압 (V)	전류 (A)	가공 속도 (g/min)	면조도 uRmax	소모비 %	가공 확대 mm
Ton	Toff	F	1	2							
200	30					45	10.0	0.322	50	0.2	0.185

방전가공기의 윤활시스템에 개발된 자성폴리머 필터 소재를 적용시켜 여과특성을 분석하였다. 여과시험에 사용된 기어시험장치는 하중과 회전수 등이 조절되며, 기어시험장치의 기어박스에 오일 여과용 필터시스템을 연결시켜 기어오일내의 마모입자를 여과시키도록 하였다. 여과성능 시험은 필터 입 · 출구에서의 압력변화를 측정하는 압력손실 시험과 여과시험 후 채취된 기어오일내의 마모입자 분포를 분석하여 필터의 여과효율을 계산하였다. 기어시험장치에 장착된 기어는 마모가 발생하기 쉽도록 연강으로 제작하였으며, 기어시험장치의 윤활시스템에 장착된 필터소재의 여과시험을 수행할 때 적용된 기어시험장치의 가동조건을 Table 4에 나타내었다. 기어시험장치에서 필터의 여과시험을 수행한 후, 각 필터소재들의 여과효율을 아래 (3) 식에 의해 계산하였다.

$$\eta_2 (\%) = \frac{Q'}{Q} \times 100 \quad (3)$$

$\eta_2$  : 여과효율

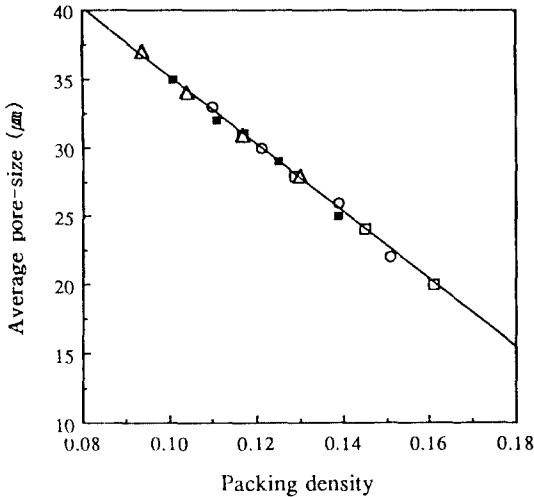
$Q$  : 필터가 장착되지 않은 상태에서 채집된 오일내의 마모입자분포

$Q'$  : 필터가 장착된 상태에서 채집된 오일내의 마모입자분포

방전가공기에 장착된 필터소재의 여과특성 시험은 필터소재를 방전가공기의 필터시스템에 직접 장착하여 수행하였으며, Table 5에 방전가공기의 가동조건을 나타내었다. 방전가공기를 Table 5와 같이 일정하게 가동시키면서 연강을 직경 20 mm의 원형 전극으로 방전가공하였다. 일정시간마다 일정량의 Bath 오일과 여과오일을 함께 채집하였으며, 채집된 오일중 일정량의 오일이 나타내는 금속마모입자 분포를 입자분석기(image analyser system)로 조사하여 방전가공기용 필터소재의 여과특성을 분석하였다.

**Table 6. The sizes of filter elements tested for the filtration characteristics**

	오일필터 시험기	기어시험장치	방진가공기
내경, mm	40	40	90
외경, mm	60	60	150
높이, mm	50	50	450



**Fig. 2. Effect of the packing densities on the average pore-sizes of filter elements.** □; 5 wt% ferrite, ○; 10 wt% ferrite, ■; 15 wt% ferrite, △; 20 wt% ferrite.

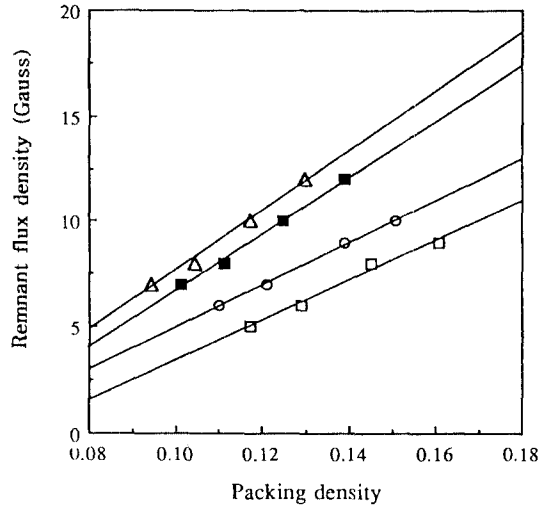
Table 6은 오일필터 시험기와 산업용 기계장치인 기어시험장치와 방진가공기의 운환시스템에 장착된 필터소재의 규격을 나타낸 것이다.

### 3. 결과 및 고찰

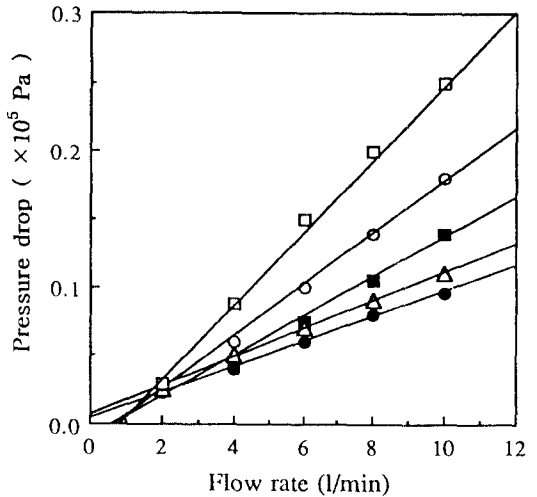
자성 재료인 바륨계 페라이트의 첨가량을 5, 10, 15, 20 wt%로 증가시켜가며 자성폴리머 필터소재를 제조하였으며, 자성재료 첨가량의 증가에 따른 필터소재의 잔류자속밀도 변화와 금속오염입자에 대한 여과효율 변화 등을 조사하였다. 아울러 자성 재료의 첨가량을 일정하게 유지하면서 필터소재의 충전밀도 변화에 따른 잔류자속밀도의 변화와 여과효율의 변화 역시 비교검토하였다.

#### 3-1. 평균기공크기 및 잔류자속밀도 측정

필터의 압력손실 특성에 가장 큰 영향을 미치는 필터소재의 평균기공크기를 측정하였으며, 필터소재의 두께는 10 mm로 일정하게 제조하여 사용하였다. Fig.



**Fig. 3. Effect of the packing densities and quantity of barium ferrite on the remnant flux density.** □; 5 wt% ferrite, ○; 10 wt% ferrite, ■; 15 wt% ferrite, △; 20 wt% ferrite.



**Fig. 4. Effect of the flow rate on the pressure drop.** □; 0.139, ○; 0.125, △; 0.111, ●; 0.097, ■; conventional paper filter.

2는 충전밀도 변화에 따른 각 필터소재의 평균기공을 기공측정기로 측정하여 도기한 것으로 자성폴리머 필터소재는 자성재료의 첨가량에 관계없이 필터소재의 충전밀도가 일정할 경우 평균기공크기가 일정하게 나타내고 있음을 관찰할 수 있다.

자성폴리머 필터소재의 착자시 가해진 자기장 (magnetic field)은 10 kOe로 고정시켰으며, 바륨계 페

라이트의 첨가량 변화에 따른 필터소재의 잔류자속밀도 변화를 측정하였다. Fig. 3은 각 필터소재의 충전밀도와 자성재료 첨가량 등을 변화시키며 측정된 잔류자속밀도를 도시한 것으로 필터소재의 충전밀도와 바륨계 페라이트의 첨가량이 증가할수록 자성폴리머 필터소재의 잔류자속밀도 역시 증가함을 알 수 있었다. 충전밀도가 같은 자성폴리머 필터소재들의 경우 자성 재료인 바륨계 페라이트의 첨가량이 증가할수록 필터소재의 평균기공 크기에는 변화가 없으나 잔류자속밀도는 증가됨을 관찰할 수 있다.

### 3-2. 압력손실 측정

자성 재료인 바륨계 페라이트의 첨가량이 15 wt%이며 충전밀도가 각각 0.139, 0.125, 0.111 및 0.097인 필터소재의 압력손실을 유량변화에 따라 측정하였다. 압력손실 시험은 금속오염입자가 첨가되지 않은 순수한 윤활유(SAE 30)를 80°C로 가열하여 수행하였으며, 이의 결과는 Fig. 4에 도시하였다. 아울러 산업용 상용필터의 압력손실 시험도 함께 수행하여 Fig. 4에 나타내었다.

Fig. 4에서 보는 바와 같이 유량이 증가함에 따라 모든 필터소재의 압력손실이 증가하는 경향을 나타내고 있으며, 일정한 유량하에서는 필터소재의 충전밀도가 높을수록 큰 압력손실을 나타내고 있다. 앞절의 평균기공 측정결과에서 보면 충전밀도가 0.139인 필터소재의 평균기공크기는 약 25  $\mu\text{m}$ 이고 충전밀도가 0.111인 소재의 평균기공크기는 약 33  $\mu\text{m}$ 임을 알 수 있으므로 일정한 유량하에서 평균기공의 크기가 큰 필터소재가 작은 기공크기의 필터소재에 비해 압력손실이 낮게 나타내고 있다. 자성폴리머 필터소재는 충전밀도가 증가함에 따라 오일필터의 압력손실 역시 증가하였으며, 이는 필터소재의 기공성에 기인된 것임을 관찰할 수 있다.

### 3-3. 여과효율 측정

자성 재료인 바륨계 페라이트의 첨가량(5, 10, 15, 20 wt%)과 충전밀도를 변화시키며 제조한 자성폴리머 필터소재의 여과효율을 측정하기 위해 여과시험 시간을 늘려가며 측정하였다. 시험유는 SAE 30을 사용하였으며, 80°C의 유온과 3 l/min의 유량 및 1 g/hr.의 미세 금속오염입자 첨가조건하에서 윤활유를 10시간동안 순환시키며 시험하였다.

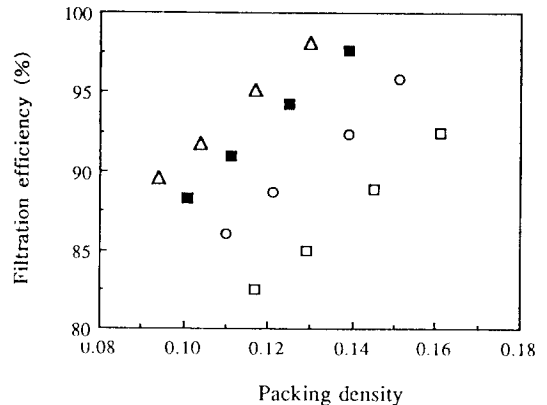


Fig. 5. Effect of the packing densities and quantity of barium ferrite on the filtration efficiency (□; 5 wt% ferrite, ○; 10 wt% ferrite, ■; 15 wt% ferrite, △; 20 wt% ferrite).

자성폴리머 필터소재에 여과된 윤활유의 여과효율을 식 (2)에 의해 계산하였으며, Fig. 5에 결과를 도시하였다. Fig. 5에서 필터의 여과효율은 필터소재의 충전밀도와 자성 재료인 바륨계 페라이트의 첨가량이 증가할수록 증가함을 관찰할 수 있다. 충전밀도가 같은 경우 자성 재료인 바륨계 페라이트의 첨가량이 증가할수록 필터의 여과효율이 높게 측정되었다. 충전밀도가 같은 필터소재의 경우 필터소재의 평균기공 크기가 유사하므로 필터소재의 여과효율 증가는 자성 재료 첨가량의 증가에 따른 필터소재의 잔류자속밀도 증가에 기인된 것이라 사료된다.

비슷한 압력손실을 나타내는 필터소재에서 자성 재료 첨가량이 증가할수록 자성폴리머 필터소재의 미세 금속오염입자에 대한 여과효율이 증가하였으며, 이는 자성폴리머 필터섬유의 자력, 즉 미세 금속오염입자와 필터섬유 사이의 물리적 흡착력이 여과시 중요한 변수로 작용됨을 나타내는 결과라 하겠다.

### 3-4. 기어시험장치 적용시험

일정한 하중을 가한 기어시험장치의 기어박스에 필터시스템을 장착시켜 80시간의 여과시험을 수행한 후, 오일내의 마모입자 분포를 분석하였다. 그 분석결과와 필터가 장착되지 않은 상태에서 채집된 기어오일의 마모입자 분포를 비교하여 필터의 여과효율을 계산하였다. 시험에 사용된 기어오일은 첨가제가 첨가되지 않은 Base 오일 (400 cSt)를 사용하였다. 기어

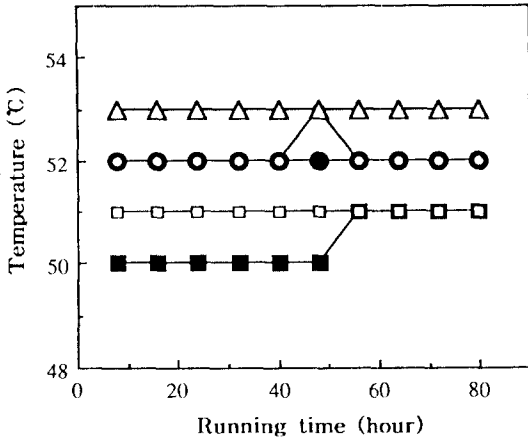


Fig. 6. Variation of oil temperature on the running time ■; no-filtering, □; 0.097, ○; 0.111, ●; paper filter.

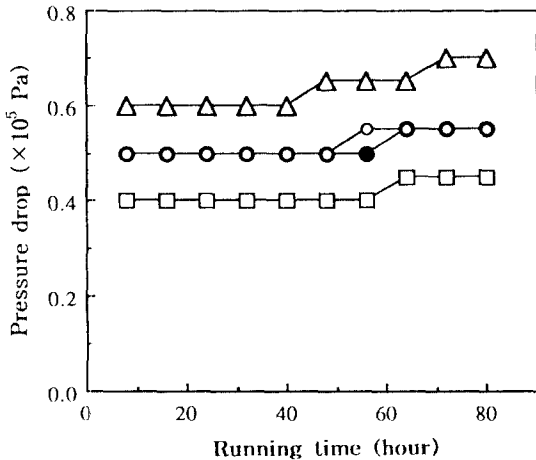


Fig. 7. Variation of pressure drop on the running time □; 0.097, ○; 0.111, △; 0.125, ●; paper filter.

시험장치에 가해진 하중은 5.5 kg · m, 총 시험시간은 80시간 이었으며, 8시간마다 기어박스내의 오일온도와 필터 입 · 출구에서의 압력을 측정하였다. 바류계 페라이트의 첨가량을 15 wt%로 고정하고 충전밀도가 0.097, 0.111 및 0.125 인 3가지 종류의 자성 필터소재들과 산업용 윤활시스템에 사용되는 상용 paper 필터소재를 여과시험에 사용하였다.

Fig. 6, 7은 기어시험장치에 장착된 각 필터들의 여과시험을 수행하면서 유온과 필터 입 · 출구에서의 압력차를 8시간마다 측정하여 각각 도시한 것이다. 필터가 장착되지 않은 오일의 온도가 가장 낮았으며, 충

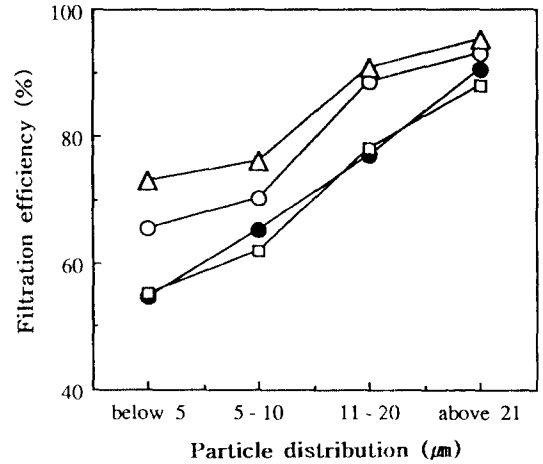


Fig. 8. Variation of filtration efficiency on the particle distribution after 80 hours running time (□; 0.097, ○; 0.111, △; 0.125, ●; paper filter).

진밀도가 0.125인 필터소재가 장착되었을 경우 가장 높은 유온을 나타내고 있다. 이러한 시험결과는 Fig. 7에서 나타낸 시험시간별 압력차 측정결과와 유사함을 관찰할 수 있다. 필터시스템에 유입되는 기어오일의 유량은 2 l/min로 고정시켰으나 기어오일에 대해 높은 압력차를 나타내는 필터소재가 낮은 압력차를 나타내는 필터소재 보다 오일의 흐름을 더 방해하므로 높은 압력차의 필터시스템내에서 순환되는 기어오일의 경우 순환 냉각작용이 더 약화되는 결과를 초래한다. 따라서 높은 압력차의 필터소재가 장착된 기어오일의 온도가 낮은 압력차의 필터소재가 장착된 기어오일의 온도보다 높게 나타나는 것이라고 사료된다.

Fig. 8은 기어시험장치를 80시간동안 가동시킨 후, 채취된 기어오일의 마모입자 분포를 분석하여 앞질의 식 (3)에 의해 각 필터소재의 여과효율을 나타낸 것이다. 자성 필터소재의 충전밀도가 증가할수록 오일에 대한 필터의 압력손실 또한 증가하였으며, 마모입자별 여과효율 역시 충전밀도에 비례하여 증가함을 관찰할 수 있다. 앞질의 압력손실 시험결과와 Fig. 7의 결과에서 본 바와 같이 충전밀도가 0.111인 자성 필터소재와 상용 paper 필터소재의 오일에 대한 압력차는 비슷하게 측정되었으나 여과효율을 비교한 결과, 자성 필터소재의 여과효율이 모든 마모입자 범위에서 상용 paper 필터소재 보다 높게 측정됨을 관찰할 수 있었다.

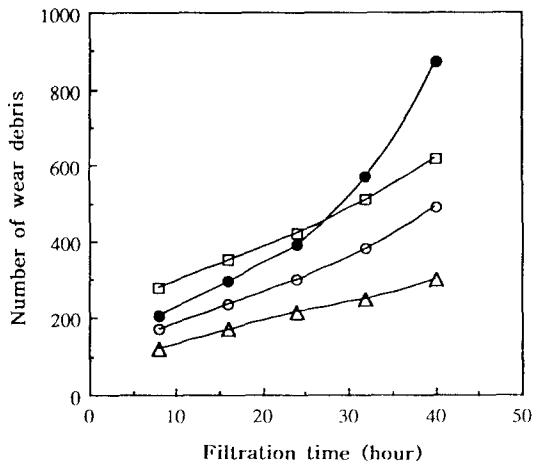


Fig. 9. Variation of number of wear debris on the filtration time (Bath oil) (□; 0.097, ○; 0.111, △; 0.125, ●; paper filter).

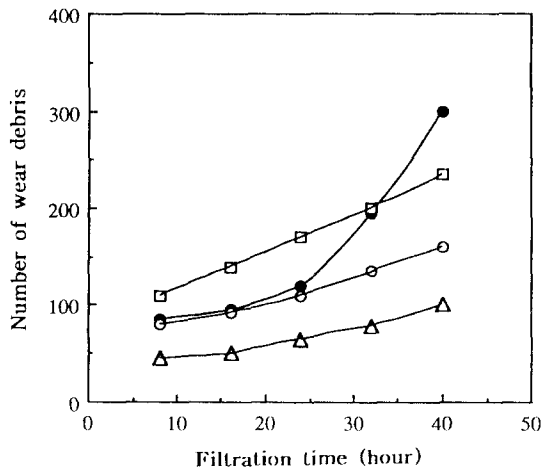


Fig. 10. Variation of number of wear debris on the filtration time (Filtering oil) (□; 0.097, ○; 0.111, △; 0.125, ●; paper filter).

### 3-5. 방전가공기 적용시험

산업용 기계장치중에서 마모입자가 다량으로 발생되는 기기중의 하나인 방전가공기용 윤활시스템에 필터소재를 장착하여 여과시험을 수행하였다. 일정한 시험조건하에서 기존의 방전가공기용 필터소재인 paper 필터소재와 자성폴리머 필터소재의 여과성능을 비교분석하였다. 여과시험에 사용된 자성 필터소재는 앞절의 기어시험장치에서와 마찬가지로 바륨계 페라이트의 첨가량을 15 wt%로 고정하고 충전밀도가 0.

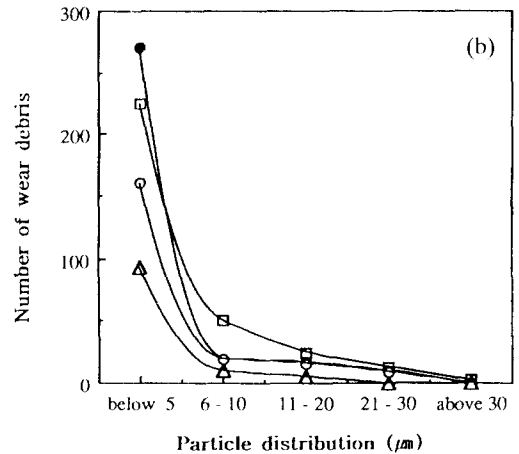
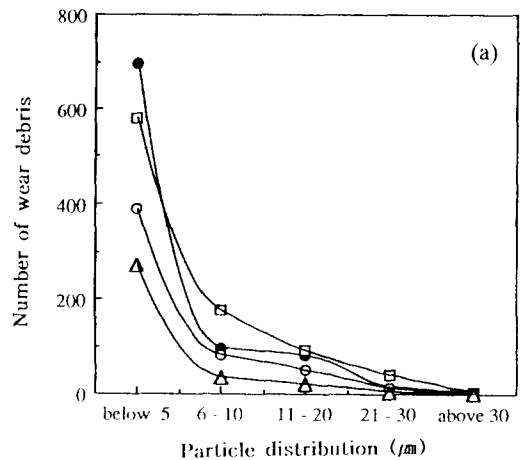


Fig. 11. Variation of number of wear debris on the particle distribution after 40 hours running time (a) Bath oil, (b) Filtering oil (□; 0.097, ○; 0.111, △; 0.125, ●; paper filter).

0.097, 0.111 및 0.125 인 3가지 종류의 소재를 사용하였다. 앞에서 설명한 Table 5의 가동조건으로 연강을 총 40시간동안 방전가공기로 가공하며 8시간마다 방전가공기의 Bath 오일과 필터 통과 오일을 각각 채집하여 2 cc의 오일을 직경 47 mm, 기공크기 0.45 μm인 멤브레인 필터에 침착시킨 후, 입자분석기(Image analyser system)로 오일내의 마모입자 분포를 분석하였다. 여과시험 도중 필터에 일정량 이상의 압력손실이 발생할 경우, 다시말해 여과되어 나오는 오일의 유출량이 기준치 이하로 감소할 때 전원이 자동차단되도록 하여 여과시험을 수행하였다.

Fig. 9와 10은 방전가공기용 필터의 여과시험을 수



행하면서 8시간마다 오일 Bath와 필터 통과 부분에서 오일을 각각 채집하여 분석한 것으로 채집시간에 따른 마모입자의 평균갯수를 측정하여 나타낸 것이다. 그림에서 자성 필터소재의 경우 충전밀도가 클수록 오일내의 마모입자 수가 감소하고 있음을 알 수 있다. 필터소재의 압력손실 값이 비슷한 상용 paper 필터소재와 충전밀도가 0.111인 자성 필터소재의 여과능력을 비교하면 두 소재가 비슷한 압력차를 가지고 있으나 다시말해 비슷한 기공크기를 갖지만 여과효율은 자성 필터소재가 더 우수함을 알 수 있었다. 이는 마모입자 여과시 자성 필터소재의 자력이 여과효율의 향상에 기여함을 유추할 수 있는 결과라 할 수 있다.

Fig. 11은 40시간의 여과시험 후 Bath와 필터 출구에서 채집한 오일의 마모입자 크기별 갯수를 각각 나타낸 것으로 시험결과는 Fig. 9, 10에서 측정된 결과와 차이가 없음을 알 수 있다. 자성 필터소재의 경우 5 μm 이하의 미세 마모입자에 대한 여과능력이 비슷한 압력손실을 갖는 기존의 상용 paper 필터소재에 비해 매우 우수함을 알 수 있었으며, 이 역시 미세 마모입자의 여과시 자성 필터소재의 자력이 여과효율에 영향을 미치고 있음을 나타내는 결과라 하겠다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 새로운 오일 필터소재로 개발된 자성폴리머 필터소재의 자력변화에 대한 여과특성을 조사하기 위해 필터소재의 여과효율, 평균기공크기 및 잔류자속밀도 등을 실험실적 시험방법으로 측정하였으며, 아울러 산업용 기기인 기어시험장치와 방전가공기의 필터시스템에 적용시켜 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 고분자 섬유유의 직경을 일정하게 유지할 경우, 자성폴리머 필터소재는 자성 재료인 바륨계 페라이트의 첨가량에 관계없이 소재의 충전밀도가 같을 경우에는 같은 기공크기를 갖는다.
- (2) 자성폴리머 필터소재의 충전밀도와 바륨계 페라이트의 첨가량이 증가할수록 필터소재의 잔류자속 밀도는 증가하였다.
- (3) 바륨계 페라이트의 첨가량과 관계없이 필터소재의 충전밀도가 클수록 오일에 대한 압력손실이 증가하였으며, 이는 소재의 기공성에 기인된다.
- (4) 충전밀도가 비슷한 자성폴리머 필터소재의 경

우, 소재의 평균기공크기는 유사하였으나 바륨계 페라이트의 첨가량이 증가할수록 미세 금속오염입자에 대한 여과효율이 증가하였다.

(5) 기어시험장치에서의 여과시험 결과, 바륨계 페라이트의 첨가량이 15 wt%이며 충전밀도가 0.111인 자성 필터소재의 경우 기존의 산업용 상용 paper 필터소재와 압력손실은 두 소재가 비슷하였으나 여과효율은 자성 필터소재가 높게 측정되었다.

(6) 마모입자가 다량 발생하는 방전가공기용 필터소재로서 자성 필터소재를 적용한 결과, 기존의 상용 paper 필터소재와 비교하여 자성 필터소재가 우수한 여과특성을 발휘하였으며, 특히 5 μm 이하의 미세 마모입자에 대한 여과효율이 뛰어난을 알 수 있었다.

따라서 자성 재료가 첨가된 자성폴리머 필터소재의 경우 필터섬유와 미세 금속마모입자 사이에 존재하는 물리적 흡착력인 자력에 의해 산업용 오일필터의 여과성능을 향상시킬 수 있을 것으로 사료되었다.

#### 참 고 문 헌

1. Paul D. Hobson, *Industrial Lubrication Practice*, The Industrial Press, New York, 10.13-10.24, 1955.
2. B.M. Verdegan and J.A. Stinson, "Interpretation of filter ratings for lubrication systems," *Lub. Eng.*, Vol. 44, No.5, pp 424-430, 1988.
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. *Filters and Filtration Handbook*, Elsevier Science Publishers LTD, pp 63-65, 1992.
6. European Patent Application, 87830116, 1987, "Lubricant filter with a paper filter element for internal combustion engines, provided with magnetized particles dispersed in the paper".
7. J. Brandrup and E.H. Immergut, *Polymer Handbook*, third edition, pp VI /96-VI/136, A wiley-interscience publication.
8. 강일구, 정원용, "자성재료에 관한 기초 연구," 한국과학기술연구원 연구보고서, pp. 15-18, 1991.
9. United States Patent, 4,361,619, 1982, "Filter media".
10. KS B 9140, "윤활유 여과기 시험방법".