

## 철계 자성유체를 이용한 기름 밀봉장치 개발에 관한 연구\*

강신우 · 김영삼

동아대학교 공과대학 금속공학과  
부산광역시 사하구 하단동 840, 607-714

(1998년 11월 25일 받음, 1999년 3월 15일 수정본 받음)

친수성 철계 자성유체의 제조와 이 자성유체를 Nd-영구자석과 병용하여 기름 밀봉 장치의 개발을 목적으로 실험 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 1) 평균 입경 100 Å, 자화값 125.5 emu/g, 대기중 150 °C까지 산화 변질성이 없는 실리카 피착 철 초미립자의 표면에 오레인산 이온, D.B.S. 이온 및 T.M.A. 이온을 흡착한 후 ethylene glycol 용액중에 분산시켜 친수성 철 분말 자성유체를 제조할 수 있었다. 2) 이상의 친수성 철 분말 자성유체 [70 % (g/cc) Fe] 를 영구자석 (3200 Gauss) 과 병용하여 기름 밀봉 장치에 응용한 결과 영구자석의 설치 개수를 영구자석 6단 그리고 구동축과 밀봉 장치 사이 간격 0.2 mm의 조건에서 압력 7400 g/cm<sup>2</sup>까지 견딜 수 있는 우수한 내압 특성을 얻었다.

### I. 서 론

기존의 자동차 구동 부품, 자동화 기계, 선박의 내연 기관 및 감속기 등에 사용되는 구동축 기름 밀봉 장치는 고무 재질의 리테이터(retainer), 요업 재질의 기계니컬 쉘(chemical seal) 등의 장치가 대부분 사용되고 있다. 그러나 이들 기존의 밀봉 장치는 구동축과 밀봉부의 완전 접촉이라는 구조적 특성상, 장기간 사용시 밀봉부와 구동축과의 마찰에 따른 밀봉부의 마모로 인해 윤활유가 다시 누출이 되는 문제점을 안고 있다. 이로 인하여 부품의 잦은 교체가 불가피한 실정이며, 기계의 구조 또한 복잡하여 교환에 따른 부품 및 인력 등이 크게 소요되고 있다. 따라서, 이러한 문제점을 개선하기 위하여 본 연구에서는 기존의 마그네타이트 자성유체보다 자화값이 2배 이상 우수하며, 대기 중에서도 산화 변질되지 않는 철계 磁性流體를 개발하고, 이를 영구자석과 병용하여 각종 기계에 있어 윤활유가 사용되는 구동축의 기름 누출의 문제점을 근본적으로 해결하기 위하여 자성유체가 밀봉을 담당케 함으로서 밀봉부 마모가 없도록 하였다. 이와 같은 자성유체의 기름 밀봉은 밀봉 성능을 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라 밀봉부의 마모가 없으므로 수명을 반영구적으로 향상시킬 수 있으며, 구조 또한 영구자석과 자성유체의 구조로 간단하여 수리 및 보수 작업이 용이한 특성을 나타낼 수 있다.

### II. 실험방법

철계 자성유체의 제조는 전보[1]의 평균 입경 100 Å, 자화값 125.5 emu/g(자계 강도 10 kOe), 대기중 150 °C까지 산화 변질성이 없는 실리카 피착 철 미립자를 사용하여 이들 철 입자의 표면에 계면활성제인 오레인산 이온, D.B.S.(Dodecyl benzene sulfonic acid) 이온 및 T.M.A.(Tetra methyle ammonium) 이온으로 흡착한 후 ethylene glycol을 첨가하고, 안정된 분산을 위하여 shaker를 이용 1030 rpm에서 2시간 교반하여 친수성의 ethylene glycol 매질의 자성유체를 제조하였다. 본 실험에서 오레인산 및 D.B.S 농도는 철 미립자 17.9 mol에 대하여 각각 1 mole의 농도로, T.M.A의 농도는 T.M.A/D.B.S=0.15/1 mole 비의 문헌치[2]를 택하였다. 자성유체의 분산 안정성 검사는 높이 16 cm, 용량 100 cc의 메스실린더를 사용하여 고상과 액상의 분리 여부를 조사하였다. 자성유체의 점도는 Brook field viscometer로 조사하였으며, 자기적 특성은 시료 진동형 자력계와 Gauss meter (日, Yokogawa社, Model 3251)를 사용하여 조사하였다. 그림 1은 이상의 철계 자성유체 제조에 관한 개략도이다.

자성유체를 이용한 기름 밀봉 성능 검사는 구동축 부위에 영구자석과 자성유체로 구성된 밀봉장치를 사용하여 조사하였다. 즉 사진 1과 같이 변속모터(동양 V.S motor社, 1Hp, 0~1800 rpm)와 연결된 구동축 회

\*1998년 10월 자기학회 추계 학술논문 발표대회(국민대학교)에서 발표한 내용임.

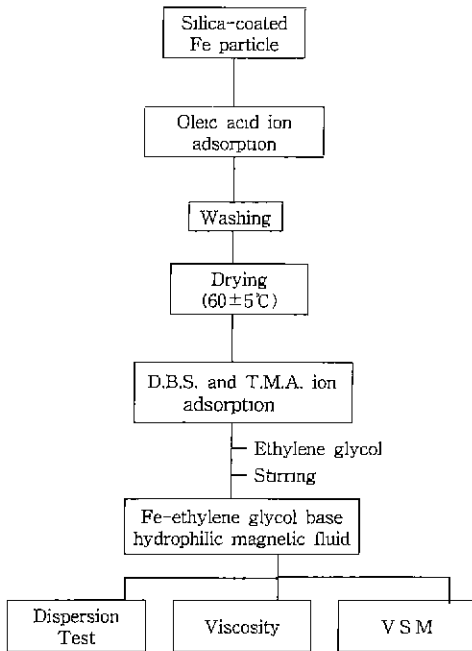


Fig. 1. Flow chart for the fabrication of Fe-ethylene glycol base hydrophilic magnetic fluid.

전 장치에 그림 2와 같이 표면자계 강도 3200 Gauss인 ring 형상의 Nd-영구자석과 구동축 표면과 영구자석 사이의 균일한 거리를 조절코자 두께 1 mm인 軟鋼材의 폴 피스(pole-piece)를 스테인리스강材의 하우징내에 배치하여 기름 밀봉 장치를 설치하였다. 이 후 친수성 철계 磁性流體를 구동축 표면과 밀봉장치 사이로 20 cc 주입하고 구동축 회전 장치 내부에 윤활유를 150 cc 채운 뒤 구동축을 1800 rpm으로 회전시켰다.

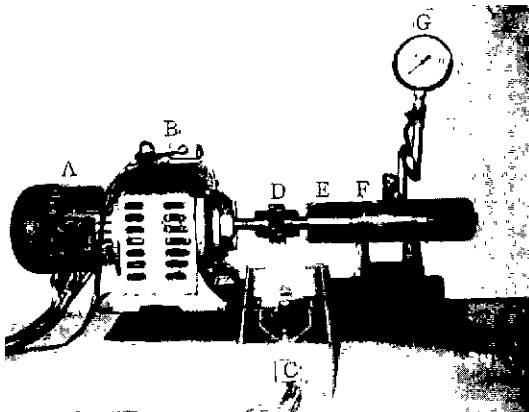


Photo 1. A experimental apparatus. A: Motor, B: Variable speed coupling, C: Speed adjuster, D: Shaft, E: Oil seal apparatus, F: Bearing, G: Pressure gauge.

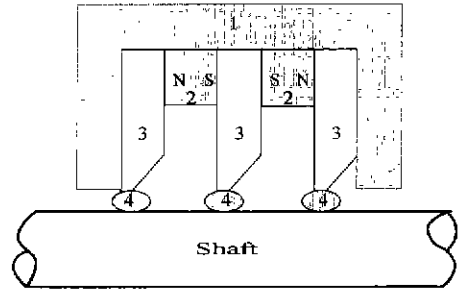


Fig. 2. A cross-section of oil seal with pole-piece and Nd-permanent magnet. 1. Housing (18%Cr-8%Ni stainless steel) 2. Nd-permanent magnet 3. Pole-piece (Mild steel) 4. Magnetic fluid.

그리고 구동축 회전 장치 내부로 압력 10 kg/cm<sup>2</sup>인 질소 가스를 흘려 보내어 윤활유의 누출이 없는 상태에서 압력 게이지 상에 나타난 최대 압력을 조사하여 밀봉 성능을 검사하였다.

### III. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 분산 안정성에 미치는 계면활성제의 영향

그림 3은 친수성 철계 자성유체 제조시 자성유체의 분산 안정성에 미치는 계면 활성제의 영향을 조사한 결과이다. 즉, 철 초미립자를 고체농도 60 %(g/cc)의 조건으로 ethylene glycol중에 분산시킴에 있어, 기준

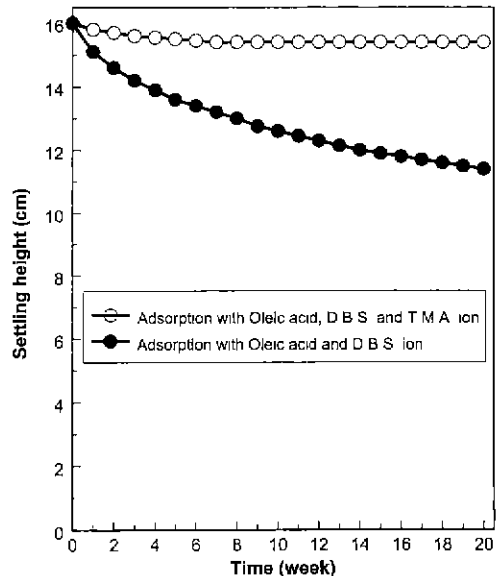


Fig. 3. Effect of T.M.A. ion addition on dispersing property of magnetic fluid.

친수성 자성유체의 제조법[3]과 동일하게 철 초미립자의 표면에 계면활성제로서 오레인산 이온 및 D.B.S. 이온을 흡착시켜 제조한 현탁액과 오레인산 이온, D.B.S. 이온 및 T.M.A. 이온의 삼중 계면활성제를 흡착시켜 제조한 현탁액을 각각 대기중 장시간 정치하여 이들 현탁액의 분산 안정성을 조사하였다.

그림 3에서 보는 바와 같이 철 초미립자의 표면에 오레인산 이온과 D.B.S. 이온을 흡착시켜 제조한 현탁액은 시간의 경과와 함께 고상과 액상의 분리가 계속 진행되어 정치한지 20주가 되었을 때, 철 초미립자의 현탁액 높이 16 cm로 부터 11.5 cm로 침강하였다. 반면, 오레인산 이온과 D.B.S. 이온 및 T.M.A. 이온으로 철 초미립자 표면에 계면 활성제 흡착층을 3중으로 흡착시켜 제조한 현탁액은 정치 시간 7주까지 고상과 액상의 분리가 약간 발생하였으나 7주 이후부터는 고상의 침강이 거의 진행되지 않았다.

이때 유체화의 분산율은

$$\frac{(\text{초기현탁액의높이} - \text{침강높이})}{(\text{초기현탁액의높이})} \times 100(\%) \text{로서 } 96\%$$

% 이상이였다.

Fujita[2]는 철 입자 표면의 계면 활성제 흡착에 대하여 철 입자 표면 제일 안쪽에 오레인산 이온층이 중간에 D.B.S. 이온층이 그리고 제일 바깥쪽에 T.M.A. 이온층이 흡착되며, 이때 오레인산 이온과 D.B.S. 이온의 2중 흡착 층의 두께는 49 Å, 오레인산 이온과 D.B.S. 이온 및 T.M.A. 이온의 3중 흡착 층의 총 두께는 100 Å이라 보고하였다. 이러한 계면활성제 이온들로 흡착된 철 초미립자들은 액상중에서 계면활성제 흡착층의 반발력이 입자간 인력을 방지함으로 분산이 가능하며, 직경 100 Å인 철 초미립자의 표면에 계면활성제를 흡착시켜 분산시킬 때 계면활성제 흡착층의 두께가 100 Å 이상되면 안정한 분산이 이루어진다고 보고하였으나 본 실험 결과에서는 Fujita와 동일한 계면활성제 조건임에도 불구하고 96 % 이상 분산이 이루어져 약간의 차이를 나타내고 있다. 그 이유는 Fujita의 경우는 순철 초미립자를 사용한 반면 본 실험에서는 실리카 피착 철 초미립자를 사용함으로써 이에 따른 시료의 차이 때문이라고 추정되나 그 구체적인 원인은 규명할 수 없었다.

### 3.2 철계 자성유체의 자성 및 점도 특성

그림 4는 고체 농도를 달리하여 제조한 철계 자성유체의 자화값을 측정한 결과이다.

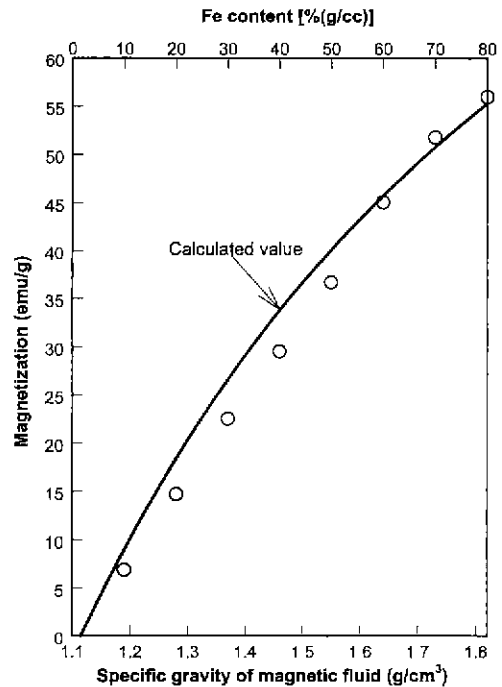


Fig. 4. Relationship between magnetization and specific gravity of Fe-ethylene glycol base hydrophilic magnetic fluid.

이 그림에서 보는 바와 같이 ethylene glycol중 철 분말의 농도가 증가할수록 자성유체의 자화값은 증가하였으며, 이 결과는 Shimoiizaka가 제시한 다음의 이론식[4]의 결과와도 잘 일치하고 있다.

$$\sigma = \rho_2(\sigma_s / \rho) (\rho - \rho_1) / (\rho_2 / \rho_1)$$

여기서  $\sigma_s$ 는 분산 입자의 자화,  $\rho$ ,  $\rho_1$ , 및  $\rho_2$ 는 각각 자성유체, 용매 및 분산 입자의 밀도이다. 자성유체의 자화값은 자성유체의 분산 입자인 강자성 미립자의 농도 및 자화값에 의존하였으며 고체 농도 (70 % (g/cc))인 철계 자성유체는 52 emu/g으로 마그네타이트계 자성유체 보다도 2.4배 이상 높은 자화값을 나타내었다. 따라서 이들 철계 자성유체를 기름 밀봉 장치에 응용시 마그네타이트 자성유체보다도 훨씬 우수한 자기적 성능을 발휘 할 수 있다.

그림 5는 상온에서 자성유체의 점도에 미치는 철 분말 농도의 영향을 조사한 결과이다.

이 그림에서 보는바와 같이 자성유체중 철 분말의 농도가 증가할수록 자성유체의 점도는 증가하며 고체 농도 60 % (g/cc) 부터 유체의 점도가 급격히 상승하여

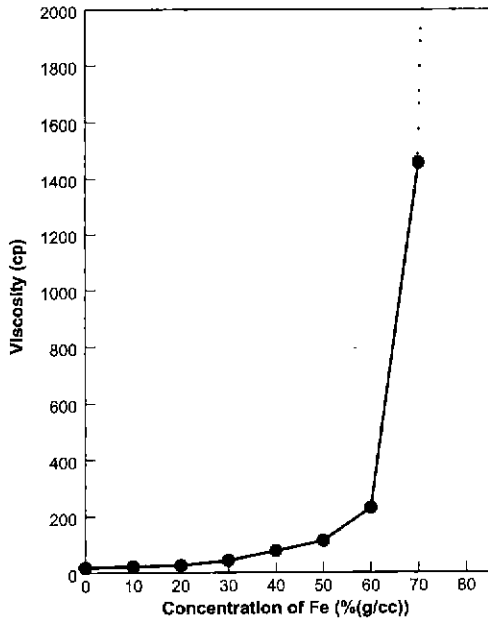


Fig. 5. Variation of viscosity with concentration of Fe in ethylene glycol base magnetic fluid.

고체 농도 70 %(g/cc) 일때 1450 cp의 고점도 자성유체가 얻어졌다.

자성유체가 기름 밀봉 역할을 하기 위해서는 친수성을 가져 기름과 혼합되지 않아야 하며, 자석에 강하게 자착되어 구동축 회전시 원심력에 의해 이탈되지 않기 위하여 점도 및 자화값이 높아야 한다. 따라서 자성유체 중 철 분말 농도를 증가시켜 자성유체의 점도 및 자화값을 높일 수는 있으나, 고체 농도 80 %(g/cc)의 경우는 100,000 cp 이상으로 줄 상태에서 겔 상태로 변화하였다. 이러한 겔 상태는 유체의 성질을 잃어 유동성이 악화되어 기름 밀봉 장치 내로의 자성유체의 주입이 곤란함은 물론, 구동축 회전시 폴 피스로의 자성유체의 균일 자착 상태가 불량하게 되어 오히려 기름 밀봉 성능을 악화시켰다. 따라서 본 실험에서 기름 밀봉용 자성유체로는 고체 농도 70 %(g/cc)로서 자화값 52 emu/g, 점도 1450 cp인 철계 자성유체를 사용하였다.

### 3.3 철계 자성유체를 이용한 기름 밀봉 장치 개발

그림 6은 자화 52 emu/g, 점도 1450 cp인 고체 농도 70 %(g/cc)인 철계 자성유체를 사용하여 구동축 회전 속도 1800 rpm의 조건에서 자성유체-기름 밀봉 장치의 내압 특성에 미치는 영구 자석의 단수 및 구동축과 폴피스 사이 간격의 영향을 조사한 결과이다.

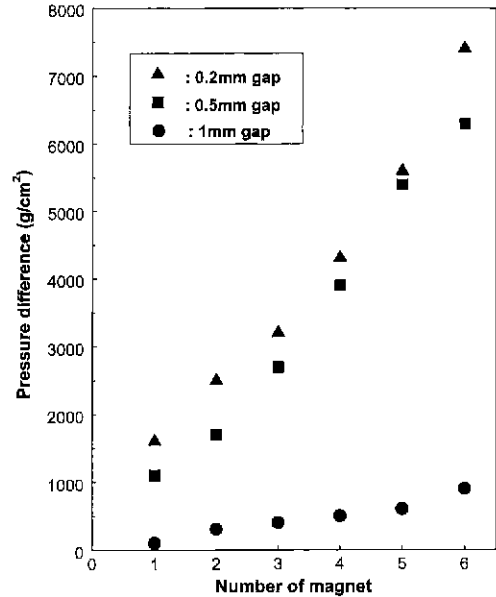


Fig. 6. Effect of the number of the magnet on the seal capacity at various magnitudes of the gap between the shaft and the pole-piccc.

그림 6에서 보는 바와 같이 자성유체-기름 밀봉 장치의 내압 특성은 영구자석의 단수에 비례하여 증가하였으며, 또한 구동축과 폴피스 사이의 간격이 좁을수록 증가하였다. 이러한 결과는 영구자석의 단수가 증가할수록, 그리고 구동축과 폴피스의 간격이 좁을수록 가해지는 영구자석의 자계 강도가 증가함으로 이러한 외부 자계 강도의 증가로 인하여 이들 구동축과 폴피스 사이의 자성유체는 더욱 더 강하게 자착되어져 밀봉 성능의 향상을 초래한 것으로 판단된다. 한편, 구동축 회전속도 1800 rpm, 영구자석 6단 및 구동축과 폴피스 간격 0.2 mm의 조건에서 밀봉 장치는 내압 7400 g/cm<sup>2</sup> 까지도 견딜 수 있는 우수한 내압 특성을 나타내었다. 이러한 특성은 자동차, 선박 등의 압력이 작용하는 구동축 기름 밀봉에 충분한 성능을 발휘할 수 있는 장치가 될 수 있다고 생각한다.

그림 7은 구동축과 폴피스의 간격 0.5 mm, 그외는 그림 6과 같은 조건에서 자성유체의 분산질 분말을 달리하였을 때 밀봉장치의 내압특성을 나타낸 것이다. 이 그림에서 보는 바와 같이 마그네타이트 자성유체의 내압성은 기존 이론식[5-9] ( $\Delta p = M \times H$ ,  $M$ : 자성유체의 자화값,  $H$ : 영구자석의 자계강도)에 거의 접근하고 있는 반면, 본 철계 자성유체의 내압성은 기존 이론식과 큰 차이로 증가함을 나타내었다. 기존 자성유체의

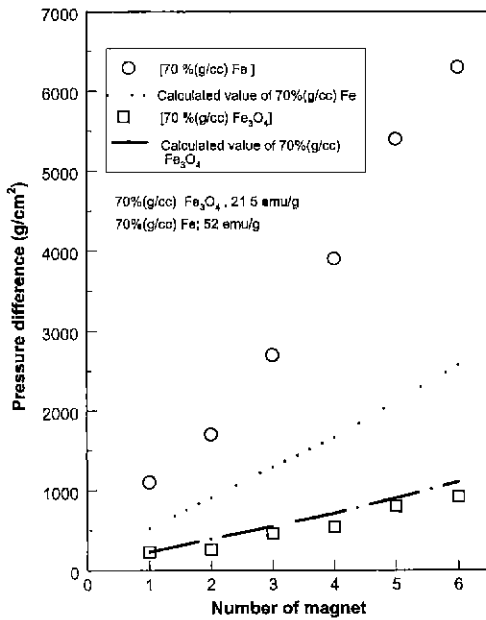


Fig. 7. Effect of the magnetization of magnetic fluid on the seal capacity.

밀봉 내압 이론은 마그네타이트 자성유체를 사용하여 전개하였으나, 자화값이 마그네타이트 보다 2배 이상 되는 철 계의 자성유체에 대해서는 전술한 바와 같이 큰 차이를 나타내므로 그 보완이 필요하였다. 영구자석 6단 일때 마그네타이트 자성유체의 경우 내압 950 g/cm<sup>2</sup>인 반면 철계 자성유체의 경우는 내압 6300 g/cm<sup>2</sup>으로 밀봉 장치의 내압성이 크게 향상되었다. 즉 고체 농도 70 %(g/cc)일때 마그네타이트 자성유체의 자화값은 21.5 emu/g, 철계 자성유체의 자화값은 52 emu/g으로 자성유체의 자화값을 2.4배로 증가 시킨 결과 밀봉 장치의 내압성은 마그네타이트 자성유체의 경우 보다 6.6배 이상 증가되었으며 이는 기존 이론식으로부터 계산된 값보다 2.4배 큰 값을 나타내었다. 따라서, 철계 자성유체의 경우 내압 특성은 다음 식과 같이 표현할 수 있다.

$$\Delta P \approx \alpha(M \times H)$$

여기서,  $\alpha=2.3\sim 2.4$  (자성유체중 분산 입자의 자화 계수,  $M$ : 자성유체의 자화값,  $H$ : 영구자석의 자계강도)

#### IV. 결 론

자화값 125.5 emu/g의 내산화성 실리카 피착 철 초

미립자를 사용한 친수성 철계 자성유체의 제조 및 철계 자성유체를 이용한 고성능 기름 밀봉 장치의 개발에 관하여 실험 검토한 결과는 다음과 같다.

1) 평균 입경 100 Å의 내산화성 실리카 피착 철 초미립자의 표면에 기존의 계면활성제인 오레인산 이온과 D.B.S. 이온 외에 계면활성제 흡착층의 두께를 증가시키기 위하여 T.M.A. 이온을 첨가한 후 대기중에서도 휘발되지 않는 ethylene glycol 용액 중에 분산시켜 친수성의 철계 자성유체의 제조가 가능하였다.

2) 자성유체 중 철 분말의 농도가 증가할 수록 자성유체의 점도와 자화값이 증가하였으며, 철 농도 70 %(g/cc) 일때 1450 cp(25°C)의 높은 점도와 52 emu/g (자계 강도 10 kOe)의 자화값을 나타내었다. 이는 동일 농도의 기존 마그네타이트 자성유체 보다 2배 이상 높은 자화값을 나타내고 있다

3) 이상의 친수성 철계 자성유체를 표면 자계 강도 3200 Gauss인 링 형상의 Nd-영구자석과 두께 1 mm 연강판의 폴 피스를 사용하여 제조한 자성유체-기름 밀봉 장치에 주입하여 밀봉 성능을 조사한 결과, 구동축 회전속도 1800 rpm의 조건에서 밀봉 성능은 밀봉 장치내 영구자석의 단수가 증가할수록, 구동축과 밀봉 장치 사이의 간격이 좁을수록 향상되었다. 그리고 영구자석 6단 및 구동축과 밀봉 장치 사이 간격 0.2 mm의 조건에서 기름 밀봉 장치는 압력 7400 g/cm<sup>2</sup> 까지 견딜 수 있는 우수한 내압 특성을 얻었다. 이러한 내압 특성은 자동차, 선박 등의 내압 기름 밀봉 장치로 우수한 성능을 발휘할 수 있는 소재로 기대된다.

#### 후 기

본 연구는 '97 산학연 지역컨소시엄 사업 연구지원비에 의하여 수행된 것으로, 이에 관계자 제위게 감사를 드리며, 특히 참여기업인 한국통상(주)의 서연태 대표이사께도 깊은 감사를 포함합니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 강신우, 김영삼, 대한금속학회지, **34**(10), 1375 (1996).
- [2] 藤田 豊久, B.Jeyadevan, 眞宮 三男, 粉末 および 粉末冶金, **38**(6), 695(1991).
- [3] 下飯坂潤三, 日本金屬學會報, **15**(2), 77(1976).
- [4] J. Shimoizaka, K. Nakatsuka, T. Fujita and A. Kounosu, Proc. Int. Symp. Fine Particle Processing,

- 2, 1310(1980).  
[5] 武富 荒, 近角聰信, 磁性流體 基礎と應用, 初版, 日刊工業新聞社, 東京, 昭和63年, pp. 13.  
[6] R. A. Williams and J. Malsky, IEEE Trans. on Mag., **16**, 379(1980).  
[7] Zou Jibin and Lu Yongping, IEEE Trans. on Mag., **28**, 3367(1992).  
[8] 關興 一, 吉田洋一, 中里 博, 日本工業材料, **31**, 60(1982).  
[9] JED. Walowit et al., ASLE Trans., **24**, 533(1981).

## A Study on the Fabrication of the Oil Seal Apparatus by Using a Hydrophilic Fe-Magnetic Fluid

S. W. Kang, Y. S. Kim

*Dep. of Metallurgical Engineering, Dong-A University, Pusan, 604-714, Korea*

(Received 25 November 1998, in final form 15 March 1999)

This paper describes a fabrication of Fe-dispersed hydrophilic magnetic fluid and its application to oil seal in combination with the Nd-permanent magnet. The results are as follows; 1) Using silica coated iron particle of magnetization of 125.5 emu/g (at 10 kOe) and the mean particle size of 100 Å, after multiple adsorption to the surface of silica coated iron particle with oleic acid ion, D.B.S. and T.M.A. ion, hydrophilic Fe-magnetic fluid [70 % (g/cc)Fe, magnetization of 52 emu/g and viscosity of 1450 cp] can be produced by dispersing the iron particle in ethylene glycol solution. 2) The oil seal apparatus consisting of six stages of Nd-permanent magnet (3200 Gauss) and Fe-magnetic fluid [70 % (g/cc) Fe] showed an excellent pressure resistance of 7400 g/cm<sup>2</sup> under the gap between shaft and oil seal was 0.2 mm.