

# 마그네티아트 磁性流體를 이용한 기름밀봉 장치 개발에 관한 연구 \*

강신우 · 김영삼

동아대학교 공과대학 금속공학과

부산시 사하구 하단동 840

(1994년 9월 23일 받음, 1994년 12월 6일 최종수정본 받음)

親水性-高粘度 磁性流體를 Nd-영구자석과 병용하여 기름밀봉 장치로의 개발을 목표로 실험 검토하였다. ethylene glycol 액상중에 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>를 분산시킨 磁性流體는 매질의 비등점이 다른 液相보다 높고 粘性이 높아서 기름밀봉 성능을 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라 본 장치의 부품중 대부분을 이루고 있는 철강재를 부식시키지 않았다. 본 磁性流體중 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 농도가 증가할수록 粘度와 磁性率이 증가하여 기름밀봉 성능을 향상시킬 수 있었다. 본 장치는 대기압하에서 기름밀봉 성능이 매우 우수하였다.

## I. 서 론

磁性流體[1]란 저자에 따라 자성잉크라고도 하며 이는 폴리아이드 크기의 強磁性 미립자를 안정하게 분산시킨 혼탁액으로서 보통 원심력이나 자장을 작용시켜도 고체와 액체의 분리가 일어나지 않고 겉보기에 액체 자신이 자성을 갖는 것처럼 거동한다. 이러한 磁性流體를 高磁束部에 유지함으로서 생기는 밀봉 작용을 이용하여 우주복, 진공 밀봉 장치에 사용된다고 보고되고 있다[2-4].

한편 최근 국내의 생산기업에서는 인력난, 원가 절감등을 해결할 목적으로 기계자동화 방식이 날로 확산 증가 추세에 있다. 이러한 기계자동화의 한 분야의 기계로서 음료, 식품 가공에서부터 중공업 분야에 이르기까지 널리 사용되고 있는 장치에는 회전축 부위에 베아링이 작동되고 이 작동을 원활하게 함과 동시에 기계적 마모를 방지하기 위하여 윤활유가 필수적으로 사용되고 있다.

이와 같이 기계의 중앙에 회전축이 작동하는 감속기에 는 회전축과 베아링 사이로 윤활유가 누출되므로 이를 방지하기 위하여 회전축 부위에 윤활유 누출 방지 장치가 요구되는데 이를 기름밀봉 장치라 한다. 기존의 기름밀봉 장치로서는 고무재질의 밀봉 장치(retainer), 요업재질의 기계적 밀봉 장치(mechanical seal) 등의 장치가 대부분 사용되고 있다. 그러나 중심회전축이 작동되고 있는 이들 밀봉 장치 대부분은 고무 및 요업재질로 되어 있으므로 장기간 사용시 밀봉 장치와 회전축 사이의 마찰로 인하여 밀봉 장치의 경화 및 마모로 인해 그 틈 사이로 윤활유가 다시 누출이 되는 문제점이 재발되므로 장치의 수명도 局限되어 있으며 구조도 복잡하여 교환에 따른 부품, 인력등이 크게 소요되고 있다. 이와 같이 종래의 기름밀봉 장치는 재질 및 구조상 밀봉 역할을 고체가 담당하

므로서 회전축 사이의 마찰에 의하여 윤활유 누출의 문제점이 발생되었으나 본 기술개발에서는 이러한 기존의 관념을 과감히 탈피하여 액체가 액체를 밀봉하는 기름밀봉 장치로서 회전시 마찰이 전혀 일어나지 않도록 하여 그 수명을 반영구적으로 시도하였으며 구조 또한 보다 간단하고 편리한 기름밀봉장치를 개발하고자 磁性流體와 영구자석을 사용하여 실험 검토하였다.

## II. 이론적 배경

### II. 1 磁性流體에 의한 밀봉 원리

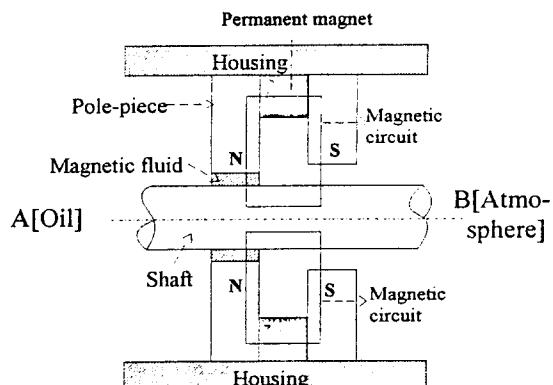


Fig. 1. Basic structure of the Oil seal by use of magnetic fluid. 2)

Fig. 1은 종래 널리 應用되고 있는 磁性流體를 이용한 진공 밀봉의 기본 구조이나 本研究에서는 진공 밀봉 대신 기름밀봉을 적용하였다. 물이나 알콜의 매질로 된 親

수성 磁性流體는 強磁性으로 거동할 뿐만 아니라 親水性의 매질은 기름과 혼합되지 않는 특성이 있으므로 本研究의 기름밀봉 目的의 磁性流體는 親水性의 磁性流體가 요구되고 있다. Fig. 1에서 처럼 중심회전축과 영구자석과의 사이를 1mm 간격으로 유지케 하고 하우징측에 2개의 원통형의 자성체로 된 pole piece 사이에 원통형의 異方性 자석을 끼우면 Fig. 1의 화살표로 표시된 바와같이 자기회로가 축과 pole piece 사이에 형성된다. 링(ring) 형의 자석에서 자석의 바깥쪽보다 안쪽의 磁場을 크게하고 여기에 磁性流體를 주입하면 磁性流體는 磁場이 강한 쪽으로 磁着되므로 磁性流體는 중심 회전축과 pole piece 사이의 틈을 막게되어 기름밀봉 작용을 할 수 있다. 이 원리는 기존 기름밀봉 장치의 가장 문제점인 중심회전축과 기름밀봉 장치 사이의 마찰을 없애줄 뿐만 아니라 기름밀봉 장치의 구조를 보다 간편화 할 수 있으므로 기름밀봉 장치의 성능 향상, 수명 연장 및 설치-수리를 손쉽게 할 수 있다.

## II. 2 耐壓性

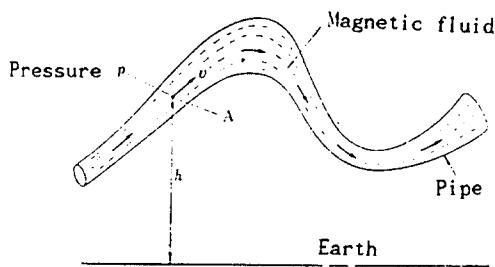


Fig. 2. A current of magnetic fluid in winding pipe.

Fig. 2에서처럼 굽은 관의 가운데로 **磁性流體**가 접성으로 인한 에너지 손실이 무시될 정도로 천천히 흐른다고 하면 지표로부터  $h$ 의 높이에 있는 A점에서의 **磁性流體**의 압력을  $p$ , 속도를  $v$ 라고 하면 다음과 같은 Bernoulli의 식이 성립된다[5].

$$\frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g h + P - \int_0^{H_0} M dH = \text{const.} \quad \dots \dots (1)$$

여기서  $\rho$ 는 **磁性流體**의 밀도,  $H_0$ 는 A점에서의 자장의 세기,  $g$ 는 중력가속도 그리고 M은 자계  $H_0$ 에서의 **磁性流體**의 **磁化**이다. (1)식의 좌변 제1항은 **磁性流體**의 운동 에너지, 제2항은 위치에너지, 제3항은 압력에너지 그리고 마지막 항은 **磁性流體**만이 가지는 특별한 항으로 자기력

에 의한 포텐셜에너지이다. 축이 정지된 경우에는 seal 부분의 磁性流體도 정지해 있으므로 磁性流體의 운동에 의한 접성발열, 속도 및 운동에너지가 “0” 이므로 Bernoulli의 식을 사용하면 이 경우 磁性流體는 자석에 의해 磁着되어 있어 중력의 영향도 무시되므로 (1)식은

$$p - \int_0^H M dH = \text{const.} \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

로 된다.

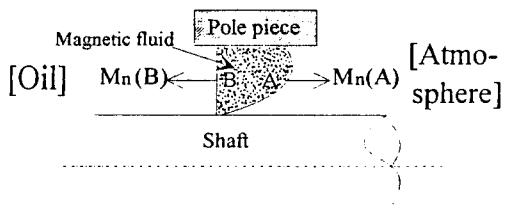


Fig. 3. The details which shaft and magnetic fluid of fig. 1

Fig. 3은 Fig. 1에서 회전축과 磁性流體의 사이에 발생되는 물리적 힘들의 위치를 좀더 상세히 나타낸 Fig.으로서 이때 磁性流體와 기름의 경계면상에서의 점을 A, B로 하면 경계 A, B점상의 磁性流體 측에서는 (2)식이 성립하므로

$$p(A) - \int_0^{H(A)} M dH = p(B) - \int_0^{H(B)} M dH \quad \dots \dots \dots (3)$$

로 된다.  $p(A)$ ,  $p(B)$ 는 각각 A점과 B점에서의 **磁性流體**의 압력,  $H(A)$ 와  $H(B)$ 는 A 및 B점에서의 **磁场**의 세기이다. 한편 경계 A, B에서 기름 측의 압력을  $p_0(A)$ , 대기측의 압력을  $p_0(B)$ 라고 하면  $P_0(A)$ ,  $p(A)$ 와  $p_0(B)$ ,  $p(B)$ 는 접촉하고 있음에도 불구하고 같지 않다. 그러므로

$$p(A) + \frac{1}{2\mu_0} \text{Mn}^2(A) = p_0(A),$$

$$p(B) + \frac{1}{2\mu_0} Mn^2(B) = p_0(B), \dots \dots (4) \text{로 된다.}$$

여기서  $\mu_0$ 는 진공중의 투자율, Mn(A), Mn(B)는 각각 A, B점에서 **磁性流體**의 자화 경계면에 수직한 성분(법선 성분)을 나타낸다. (3)식과 (4)식에서

$$p_0(B) - p_0(A) = \int_{H(A)}^{H(B)} M dH + \frac{1}{2\mu_0} [Mn^2(B) - Mn^2(A)] \dots\dots\dots(5)$$

로 된다. 좌변  $p_0(B) - p_0(A)$ 는 밀봉 耐壓을 나타낸다. 축이 회전할 경우 Navier-Stokes식에 의하면 회전 중 밀봉의 耐壓  $\Delta p = p_0(B) - p_0(A)$ 는

$$p_0(B) - p_0(A) = \int_{H(A)}^{H(B)} M dH - \int_A^B \frac{\rho v^2}{r} dr + \frac{1}{2\mu_0} [Mn^2(B) - Mn^2(A)] \dots\dots\dots(6)$$

으로 된다. 여기서  $r$ 은 축의 반경을 나타낸다. (6)식과 (5)식을 비교해 보면 (6)식 우변 제2항이 추가되었는데 이는 회전축 회전에 따른 磁性流體 자체 회전으로 인한 원심력에 기인한 것이다. 통상 (6)식의 제2항, 제3항은 제1항에 비해 무시할 정도로 작다. 그러므로 밀봉 내압  $\Delta p \equiv p_0(B) - p_0(A)$ 는

$$\Delta p \approx \int_{H(A)}^{H(B)} M dH \dots\dots\dots(7)$$

로 된다[6-10]. 이상에서 검토한 바와 같이 磁性流體를 기름밀봉 장치에 應用時 회전축과 기름밀봉 장치 사이에 内外部의 壓力差가 있을 경우 영구자석의 표면 자계 강도, 磁性流體의 자화 등을 높게 하면 압력에도 견딜 수 있는 기름밀봉 장치를 개발할 수 있다.

### III. 시료 및 실험방법

磁性流體의 가격적 저렴화를 목적으로 鋼의 냉간가공 기업에서 폐기물로 발생되는 鋼의 酸洗폐액(Fe 8-13wt %)을 사용하여 共沈法으로서 磁性流體의 분산질인 마그네타이트 초미립자를 제조하였다. 즉 산세페액(주로  $Fe^{2+}$ 로 형성)을 대기중의 산소와 반응시켜 酸洗폐액 중  $Fe^{2+}$ 를  $Fe^{3+}$ 로 산화시켜 폐액중의 철이온을  $Fe^{2+}/Fe^{3+} = 0.5$  mole 비로 조절하고 이 酸洗폐액 혼합액을 pH 12 이상의 강알카리 분위기에서 반응시켜 평균 粒徑 75 Å인 球狀의 초미립  $Fe_3O_4$ 로 침전 분리시켰다[8]. 침전 입자는 水洗하여 5 A 여과자로 여과한 후 건조기내에서 60 ± 5 °C로 건조하여 磁性流體用  $Fe_3O_4$ 로 사용하였다. 건조된 시료는 오레인산 이온을 괴복시킨 뒤 같은 방법으로 여과 건조시켰다. 이 시료에 親水性이 강한 계면활성제인 Dodecyl Benzene Sulfonate(이하 D. B. S.)이온을

첨가 반응시켜  $Fe_3O_4$  표면에 오레인산 및 D. B. S. 이온을 二重層으로 흡착시킨 후 ethylene glycol을 첨가한 다음 Shaker(美國, Red Devil社, Model 5400-02, 진동수 1032회/min)로서 2시간 교반하여 親水性의 ethylene glycol 매질의 磁性流體를 제조하였다. 이때 첨가되는 계면활성제는 각각 계면활성제/ $Fe_3O_4$ 로서 1/4.3(mole)의 보고서 값[9-11]으로 처리하였다. 磁性流體 製造時 強磁性體인 마그네타이트는 균질한 분산이 필수적이므로 이를 확인하기 위하여 磁性流體의 분산 안정성 검사는 높이 16cm, 용량 100cc의 메스실린더에 磁性流體를 정처한 후 액상과 고상의 분리 정도를 검사하여 분산안정성을 조사하였으며 육안상으로 固體-液體의 분리가 없다고 판정되었을 때는 다시 메스실린더의 높이 3cm 간격마다 磁性流體 2 cc씩을 채취하여  $Fe_3O_4$  농도를 화학분석하여 농도차가 %단위로同一할 때 균일 분산으로 판단하여 사용하였다. 磁性流體의 점도 측정은 미국 Brook field engineering社의 Brook Field Viscometer로서 조사하였으며 자기적 특성은 VSM(Vibrating Sample Magnetometer, 美國, Model LDJ-9600) 및 Gauss meter(日本 Yokogawa社, Model 3251)로 조사하였다.

Table 1. Properties of magnetic fluid midium.<sup>[12]</sup>

Item Medium	Chemical formula	Specific gravity	Viscosity (cp, 25°C)	Vapor pressure (20°C, mmHg)	Boling point (°C)
Water	H <sub>2</sub> O	1	0.8904	17.535	100
Ethylene glycol	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	1.1155	17.6	0.05	197.85

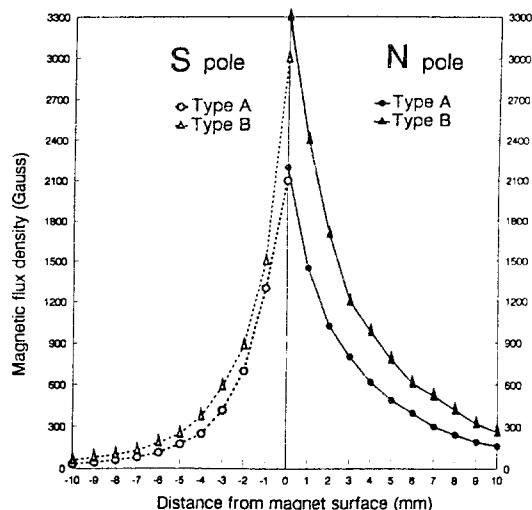


Fig. 4. Magnetic flux density v. s. distance from the magnet surface.

한편 기름밀봉 장치에 사용된 자석은 Fig. 4와 같은 시판의 異方性 Nd-영구자석 [규격은 6Wx15Lx3T(mm), 表面 磁束密度는 2,250 Gauss인 A type과 6Wx15Lx6 T(mm), 表面 磁束密度는 3,300 Gauss인 B type의 두 종류]을 사용하였으며 회전 중심축과 연결된 베아링 부위의 마모를 막기 위해 사용된 윤활유는 미국 석유협회 (API) CF-4급인 호남정유(주)의 SAE 15W / 40의 내연기관용 윤활유를 사용하였다.

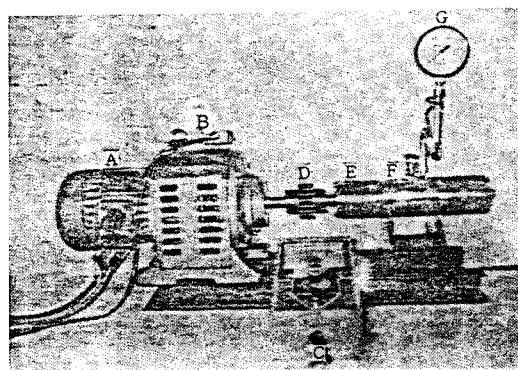


Photo. 1. A experimental apparatus. (V. S. motor) A : Motor B : Variable speed coupling C : Speed adjuster D : Shaft E : Oil seal apparatus F : Bearing G : Pressure gauge

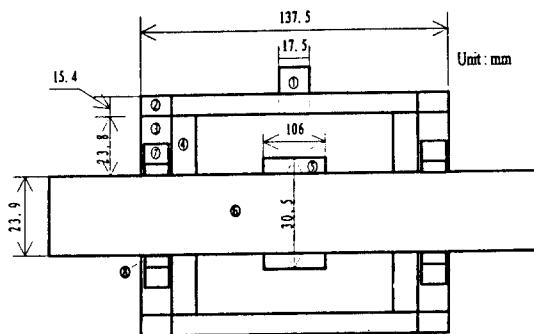


Fig. 5. A cross-section of working department of photo. 1 (E, F of photo. 1) ①Lubricant inlet ②Oil seal apparatus ③Pole-piece ④Bearing ⑤Gear ⑥Shaft ⑦Nd-permanent magnet ⑧Magnetic fluid

중심축 회전 장치는 Photo. 1과 같은 시판의 1마력 Variable speed motor (동양 V. S motor社, 1마력, 회

전속도 0 ~ 1,800 rpm, 이하 V. S모터라함)를 사용하였다. 본 사진의 A는 모터로서 전원에 의해 중심축을 회전 시킬 수 있다. B와 C는 회전속도를 조절할 수 있는 장치 및 계측기(100 ~ 1,800 rpm)이며 D는 중심회전축이다. F는 베아링이 부착된 원통의 housing이며 그 중앙에 회전축이 회전하게 되어 있으며 윤활유가 충진되어 있다. E부에 Fig. 5와 같이 영구자석 및 磁性流體를併用한 기름밀봉 장치를 설치하여 회전 속도 변화에 따른 기름밀봉 성능을 지배하는 因子를 조사하였다. 이때 기름밀봉 장치의 자석 표면과 회전축의 간격은 1mm로 하였다. G는 실험용기내의 압력을 측정하기 위한 압력계이다.

#### IV. 실험결과 및 고찰

##### 4-1 親水性 ethylene glycol 매질 磁性流體의 特性

前述과 같이 제조된 磁性流體用 분산 입자인 마그네파이트는 球狀의 형태로 粒度分布는 30 ~ 110 Å이며 평균 입경은 75 Å의 것을 사용하였다[8]. 本 마그네파이트의 磁化率를 측정한 결과 磁界強度 10 kOe에서 磁化率 46.08 emu / g 이었다. 이값은 마그네파이트 포화자화 값 91 emu / g에 크게 못 미치는 값을 나타내고 있다. 그 이유는 본  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 는 單磁區 粒徑 이하의 超微粒化에 따라 強磁性이 超常磁性 특성으로 轉化되기 때문으로 생각한다.

磁性流體가 기름밀봉 역할을 하기 위해서는 磁性流體가 기름과 혼합되지 않기 위하여 親水性이어야 할 뿐만 아니라 기름밀봉 역할을 향상시키기 위하여 磁性流體가 磁石에 磁着되어 離脫되지 않기 위해서는 粘性 및 磁化率이 크게 요구된다. 이들을 만족하기 위하여 본 實驗에 사용되는 磁性流體의 매질은 Table. 1과 같은 親水性의 액상중 비등점이 높고 粘性이 높은 ethylene glycol을 사용하였다. 그리고 磁性流體의 粘性 및 磁化率에 미치는 마그네파이트의 농도의 영향을 조사하였다.

Fig. 6은 ethylene glycol 매질의 磁性流體의 점도에 미치는 마그네파이트 농도의 영향을 조사한 결과로서 마그네파이트의 함량이 증가할수록 점도가 점점 증가하고 있으며 마그네파이트의 농도가 50 % (g / cc) 일때 900 cp (25 °C)의 높은 粘度를 나타내었다. 본 ethylene glycol 액상중에  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 를 분산시킨 磁性流體의  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  농도에 따른 磁性流체의 磁化率値을 측정한 결과는 Fig. 7와 같다.

磁性流體중 마그네파이트 농도가 증가할수록 磁化率도 증가하였으며 마그네파이트의 농도가 50 % (g / cc) 일 때 磁化率 17.1 emu / g (磁界強度 10 kOe에서)을 나타내었다. 이 결과를 정리하면 (8)식과 같다.

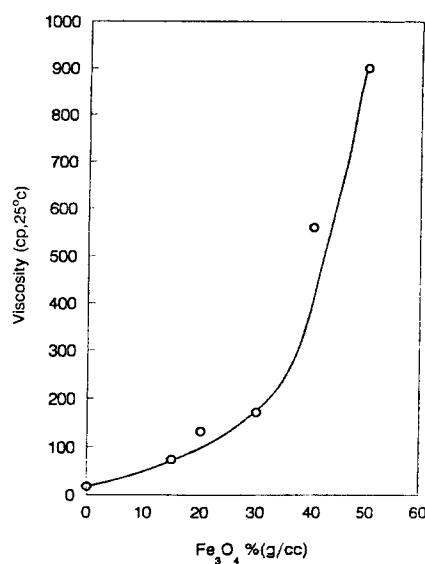


Fig. 6. Variation of viscosity with concentration of  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  in ethylene glycol base magnetic fluid.

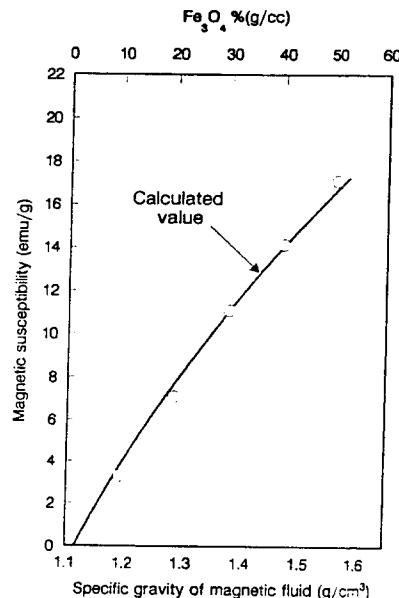


Fig. 7. Relation of between magnetic susceptibility and specific gravity of magnetic fluid.

$$\sigma = \rho_2(\sigma_s / \rho) (\rho - \rho_1) / (\rho_2 - \rho_1) \quad \dots\dots\dots (8)$$

$\rho, \rho_1, \rho_2$ 는 각각 磁性流體, 매질, 분산입자의 밀도이며  $\sigma_s$ 는 분산입자의 磁化이다. 이 결과는 kerosene 매질의 磁

性流體로 부터 얻은 Shimoizaka[13]의 보고와도 잘 일치하고 있다. 이상의 결과로 부터 기름밀봉 목적의 磁性流體는 되도록 분산입자인 마그네타이트의 농도가 높을 수록 유리하였다.

#### 4-2. 磁性流體를 이용한 기름밀봉 장치개발

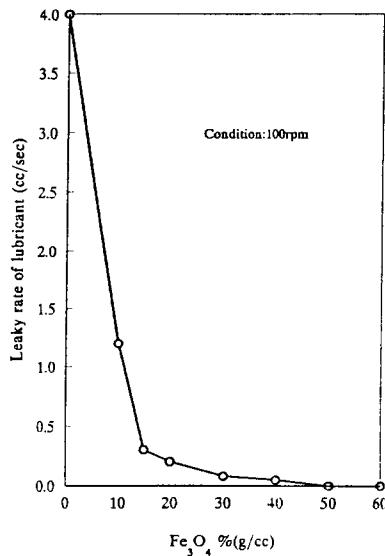


Fig. 8. Concentration of  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  v. s. leaky rate of lubricant.

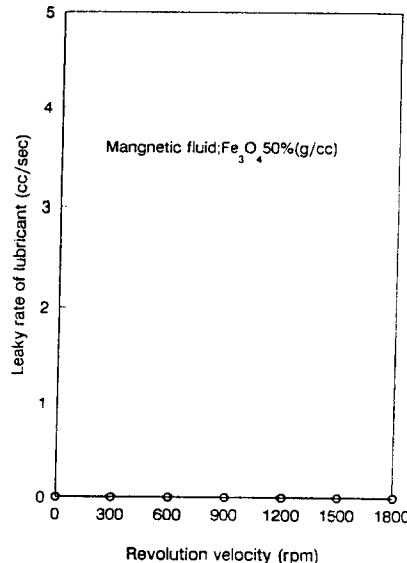


Fig. 9. Revolution velocity v. s. leaky rate of lubricant for 3hrs.

Fig. 8은 사진 1과 같은 V. S. 모터를 사용하여 회전축

의 회전속도가 100 rpm, 윤활유 150 cc, 회전시간 3시간, 表面 磁束密度 3,300 Gauss인 Nd영구자석의 표면적 5cm<sup>2</sup>, 대기압의 조건하에서 ethylene glycol매질의 磁性流體中 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 농도가 윤활유 누출 속도에 미치는 영향에 대하여 검토한 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 磁性流體중 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>의 농도가 증가할 수록 윤활유 누출 속도가 감소 하였으며 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>의 고체농도가 14 % (g / cc) 이상인 조건에서 윤활유 누출 속도가 현저하게 감소하며 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>의 농도가 50 % (g / cc) 이상일 때 윤활유의 누출이 전혀 일어나지 않는 양호한 기름밀봉 장치를 개발 할 수 있었다. 이 결과를 Fig. 6 및 7의 결과와 비교하면 磁性流體중 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>의 함유량이 증가함에 따라 磁界中 磁性流體의 磁氣의 引力 및 점도가 증가함으로써 영구자석 표면에 부착된 親水性的 磁性流體가 이탈되기 어렵기 때문에 기름밀봉 작용이 향상되어 윤활유 누출을 방지할 수 있었다.

前과 같은 조건중에서 磁性流體中 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>농도를 50% (g / cc), 회전축 회전시간 3시간의 조건하에서 회전속도를 달리하였을때 윤활유 누출을 조사한 결과는 Fig. 9와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 본 실험의 조건 즉 회전속도 0 ~ 1,800 rpm, 3시간의 조건하에서는 윤활유 누출이 전혀 일어나지 않았다.

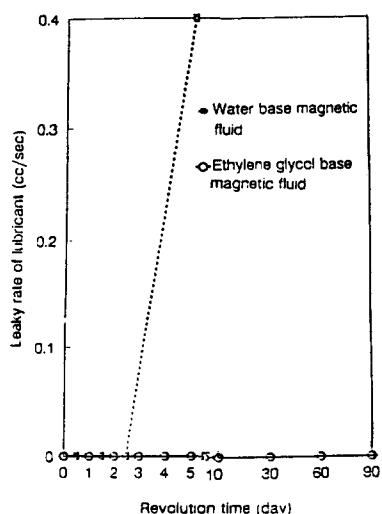


Fig. 10. Effect of medium of magnetic fluid on leaky rate of lubricant.

Fig. 9의 조건중에서 磁性流體의 매질을 물 및 ethylene glycol로 사용한 두 종류의 磁性流體를 사용하여 회전축의 회전 속도 1,800 rpm의 조건하에서 회전축 회전

시간의 연장에 따른 윤활유 누출을 조사한 결과를 Fig. 10에 표시하였다. 이 때 물을 매질로 한 磁性流體 제조는 ethylene glycol 매질 대신 물을 매질로 제조하여 사용하였다. 그림에서 보는 바와 같이 물을 매질로 한 水性 磁性流體의 경우는 회전축 회전시간이 70시간 이상 경과할 때 윤활유 누출이 일어나는 반면 ethylene glycol을 매질로 한 高粘度 親水性 磁性流體의 경우는 회전시간 90일 까지도 윤활유의 누출이 발생되지 않는 우수한 기름밀봉 특성을 나타내었다. (추후 검토한 결과 每日 6時間 작동하여 10개월 경과시 까지도 우수한 기름밀봉 특성을 나타내었다.) 이러한 결과는 ethylene glycol의 증기압이 물보다 현저히 낮으므로 상온에서 ethylene glycol매질은 물보다 증발하기 어렵기 때문에 밀봉 특성을 향상시킨다고 생각한다. 이를 증명하기 위하여 이들 두 水性 磁性流體의 매질 증발 실험을 한 결과 물을 매질로 한 磁性流體의 경우 초기 매질중 수분은 56 wt%이었으나 Fig. 10과 같은 조건하에서 70시간이 경과한 후 磁性流體中 수분을 분석한 결과 28.3 wt%로 감소한 반면 ethylene glycol의 경우 매질의 증발이 거의 없이 양호한 상태를 유지하였다.

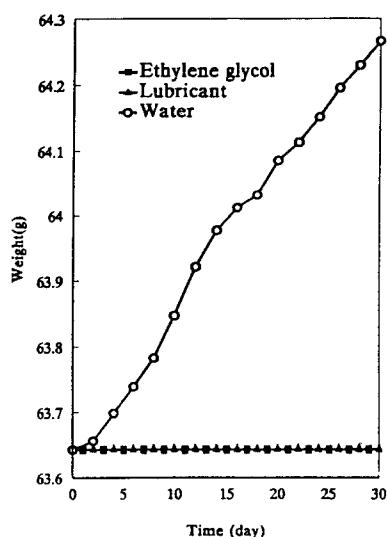


Fig. 11. Weight change of mild steel in each dispersion medium.

매질로 인한 장치의 수명에 관계하는 부식성을 조사한 결과는 Fig. 11과 같다. 본 실험장치와 같은 회전장치 材質의 대부분이 軟鋼材인 점과 장시간 사용 시 윤활유 작용의 온도가 45 ~ 50 °C인 점을 고려하여 실험 조건은 가로 0.5 cm, 세로 0.5 cm, 높이 0.3 cm의 軟鋼(0.13 ~ 0.5 %C)

을 물, ethylene glycol 및 윤활유 중에 넣고 온도 50°C를 유지하면서 시간의 경과에 따라 軟鋼의 酸化에 따른 질량 변화를 조사하였다. 이때 灰色의 軟鋼은 질량이 증가할 수록 표면에 赤色의 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>로 부식되는 현상을 나타내었다. 그림에서 보듯이 물을 매질로 한 경우는 3일째부터 급격한 부식으로 인하여 그 중량이 증가하고 있는 반면 ethylene glycol과 윤활유는 30일이 지나도 중량 변화가 없는 것으로 보아서 부식이 전혀 발생하지 않았다.

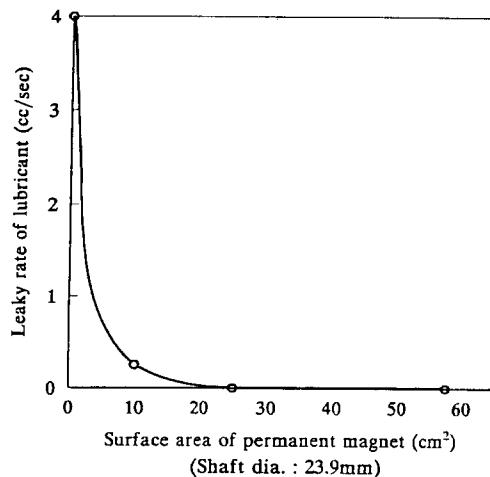


Fig. 12. Effect of the surface area of permanent magnet on leaky rate of lubricant.

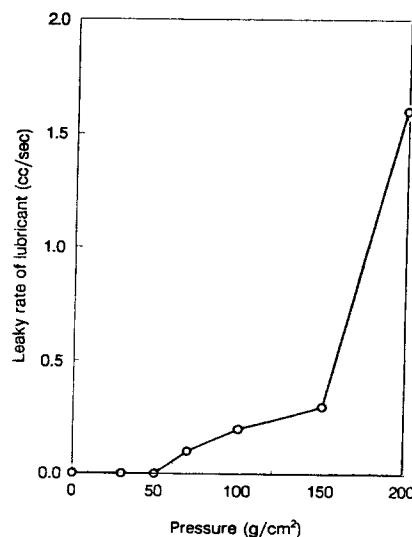


Fig. 13. Variation of pressure v. s. leaky rate of lubricant.

(추후 검토한 결과 10個月이 지나도 ethylene glycol중에서 軟鋼材의 부식은 전혀 일어나지 않았다.) 즉 ethylene glycol을 매질로 사용한 磁性流體는 물보다 휘발성이 낮아 장시간 사용하여도 安定性을 유지할 뿐만 아니라 사용 용기를 부식시키지 않는 長點도 있었다.

Fig. 12는 前과 同一한 조건에서 회전축 직경이 23.9 mm인 V. S. 모터를 사용하여 최대 회전속도 1,800 rpm, 회전시간 3시간의 조건에서 영구자석 표면적과 윤활유 누출의 관계를 나타낸 그림이다. 그림에서 보듯이 영구자석 표면적이 클수록 윤활유 누출은 감소하였으며 표면적 24.5 cm 이상에서 부터 윤활유의 누출이 발생되지 않았다. 이는 영구자석 표면적 증가에 따른 磁性流體의 磁着量이 증가함으로서 기름밀봉 性能을 향상시켰다고 생각한다.

Fig. 13은 Fig. 12와 同一한 조건에서 耐壓性을 조사한 결과이다. 그림에서 보듯이 압력 50 g / cm<sup>2</sup>이상에서 磁性流體막이 파열되면서 윤활유의 누출이 발생되었다. 前述의 (7)식으로부터  $\Delta p \approx f_{H(A)}^{H(B)} M d H$ , 여기서 H(A)는 자계강도가 미치는 마지막 지점 즉 자계강도가 "0"이다. 表面 磁束密度 3,300 Gauss를 갖는 영구자석은 1 mm 떨어진 거리에서 磁束密度 2,400 Gauss를 나타낸 것을 사용하였으므로 H(B)는 2,400 Gauss이며 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 50 % (g / cc) 磁性流體의 磁化 M은 17.1 emu / g이다. 이들 값을 (7)식에 대입하면  $\Delta p \approx f_0^{H(B)} M d H = 52.1 (g / cm^2)$  이다. 이 값은 Fig. 13의 실험에서 얻은 값과 거의 일치하고 있다. 4-3. 감속기 기름밀봉 장치에의 應用 이상과 같이 V. S 모터를 사용하여 얻은 기름밀봉에 미치는 主要因子의 好適條件를 감속기의 기름밀봉 장치에 적용하여 검토하였다. 감속기는 第一綜工社에서 生產되고 있는 수평식의 감속기를 사용하였으며 그 구조를 Fig. 14에 표시하였다. 중심회전축의 직경은 30mm의 것을 사용하였다.

Fig. 14에서 알 수 있듯이 감속기는 개방식의 대기압 상태로 작동되며 중심에 회전축이 회전하며 회전을 원활하게 하기 위하여 베이링과 윤활유가 使用되고 있다. 회전 속도를 감소 시키기 위하여 모터쪽의 회전 输入보다 出力의 회전속도가 감소도록 구조되어 있다. 회전속도는 输入 1,750 rpm에서 出力 28.7 rpm으로 되어 있으며 그 양단 26, 27위치에 기존 고무材質인 retainer를 설치하여 윤활유 누출을 방지하고 있다. 그러나 이 retainer는 하루 9시간 作動하면 수개월내에 회전축과 고무재질의 硬化 및 마모에 의해 윤활유 누출이 再發되는 문제점이 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 retainer 대신 磁性流體와 영구자석을併用한 本 기름밀봉 장치로 대체하여 실험 검토하였다.

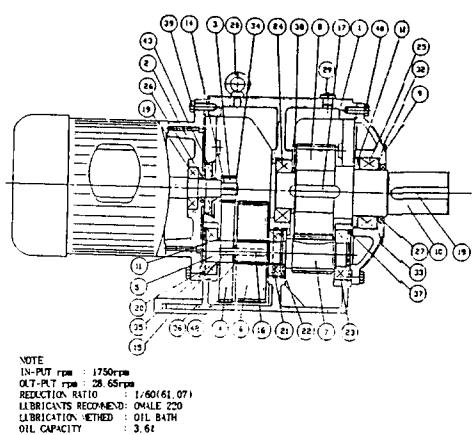


Fig. 14. Horizontal speed reducer.

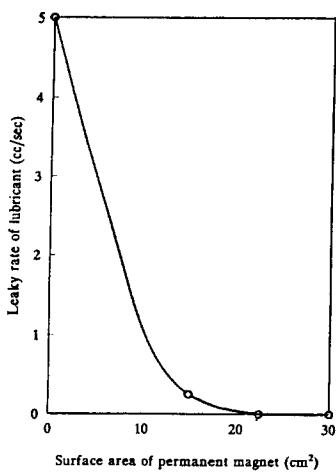


Fig. 15. Effect of the surface area of permanent magnet on leaky rate lubricant of horizontal speed reducer (Magnet : A type)

Fig. 14의 수평식 감속기의 회전축 중에서 회전속도가 출력보다 빠른 26 위치의 retainer를 제거하고 본 磁性流體-영구자석의 기름밀봉 장치를 설치하여 기름밀봉 성

능을 조사하였다.

Fig. 15는 Fig. 14의 26, 직경이 30 mm인 중심 회전 축이 1,750 rpm으로 회전하며 여기에 1 mm 간격을 유지하는 "O"링의 Nd-영구자석(A형)을 설치하고 그 틈 사이로 ethylene glycol 매질인 親水性 자성유체[Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 50 % (g / cc)]를 주입하였을 때 기름밀봉 성능을 조사한 결과이다. 이 그림에서 알 수 있는 바와 같이 본 수평식 감속기에서는 영구자석의 표면적이 22.6 cm<sup>2</sup> 이상에서는 윤활유 누출이 전혀 없었다. 본 조건하에서 每日 6시간씩 10개월 동안 작동 하여도 윤활유 누출이 전혀 없었고 수명도 반 영구적인 우수한 기름밀봉 장치를 만들 수 있었다.

## V. 결 론

鋼의 酸洗 폐액을 이용하여 親水性 高粘度 磁性流體를 제조하고 이를 감속기의 기름밀봉 장치로의 활용을 목표로 실험 검토한 결과는 다음과 같다.

- 1) 鋼의 酸洗 폐액을 部分 酸化시켜 폐액중 Fe<sup>2+</sup> / Fe<sup>3+</sup>의 몰비를 0.5로 조절한 다음 pH 12 이상의 강 알카리로 반응시켜 폐액중 중금속 성분을 粒徑 100 Å 이하인 초미립자의 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>로 제조하였다. 이 초미립자의 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 분말의 표면에 오레인산과 D. B. S. 이온을 二重으로 흡착시킨 다음 ethylene glycol 용액을 첨가하여 분산시켜 高粘度의 親水性 磁性流體를 제조할 수 있었다.
- 2) 上記 ethylene glycol 액상중에 磁性流體는 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 농도가 증가할수록 粘度와 磁化率이 증가하였으며 磁性流體中 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>가 50 % (g / cc)의 농도에서 900 cP (25°C)의 높은 粘度와 磁化率 17.1 emu / g (磁界強度 10 KOe에서)을 나타내는 親水性 磁性流體를 제조 할 수 있었다.
- 3) Nd영구자석과-자성유체를 이용한 기름밀봉 장치 개발 시 자성유체중 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 농도 50 % (g / cc) 이상에서 粘度와 磁化率을 높게 나타났으며 이러한 특성을 기름밀봉 성능을 크게 향상시킬 수 있었다.
- 4) Ethylene glycol 매질의 磁性流體는 매질의 비등점이 다른 液相보다 높고 粘性이 높아 본 장치의 기름밀봉 작용을 향상시켜줄 뿐만 아니라 대부분이 軟鋼材質로 되어 있는 본 장치의 부식을 전혀 일으키지 않아 수명 연장에도 그 效果가 우수하였다.
- 5) 本 실험의 조건에서 磁性流體와 영구자석을 이용한 기름밀봉 장치의 耐壓性은 50 g / cm<sup>2</sup> 이상은 그 성능을 발휘할 수 없었다. 그러므로 本 기름밀봉 장치는 선박 엔진이나 자동차 구동 부의 기름밀봉 장치로는

부적당하며 보다 다각적인 보완 연구가 필요하다고 생각된다. 그러나 감속기와 같은 大氣壓下의 기름밀봉 장치로서는 그性能이 매우 우수하게 開發되었다.

### 감사의 글

본 연구는 상공자원부 주관 1993년도 공업기반기술개발사업의 연구비 지원에 의하여 수행한 것으로 이에 깊은 감사를 표합니다.

### 참 고 문 헌

- [1]. 未踏加工技術協會：“新時代の磁性材料”，工業調査會, 299(1981)
- [2]. W. Ochonski : “DYNAMIC SEALING WITH MAGNETIC FLUID” Wear, **130**, 1, 261 (1989)
- [3]. R. A. Williams and J. Malsky : “SOME EXPERIENCE USING A FERROFLUID SEAL AGAINST A LIQUI-D”, IEEE Trans. on Mag., **16**, 2, 379 (1980)
- [4]. Zou Jibin and Lu Yongping : “Numerical Calculations for Ferrofluid Seal”, IEEE Trans. on Mag., **28**, 6, 3367 (1992)
- [5]. 關興一, 吉田洋一, 中里博：“磁性流體 シール”日本工業材料, **31**, 5, 60 (1982)
- [6]. JED. Walowitz et al. : “Analysis of Magnetic-Fluid seals”, ASLE Trans., **24**, 4, 533 (1981)
- [7]. O. Pinkus : “Model testing of magnetic fluid seals”, ASLE Trans., **25**, 1, 79 (1982)
- [8]. 차동덕, 이명재, 설수덕, 성낙원, 김영삼, 박세윤：“鋼의 酸洗 폐수를 이용한 Magnetite 자성잉크 제조에 관한 연구”, 대한금속 학회지, **27**, 9, 801 (1989)
- [9]. 下飯坂潤三：日本特許昭 57-155269
- [10]. A. E. Berkowitz and E. Kneller : “Magnetism and Metallurgy”, Academic Press, N. Y., (1969) Chap. 8
- [11]. R. E. Rosensweig : “Encyclopaedic Dictionary of Physics”, Suppl, 4 111 (1971)
- [12]. 中塚勝人, 下飯坂潤三：鐵と鋼, **1**, 55 (1987)
- [13]. 未踏加工技術協會：“新時代の磁性材料”，工業調査會, 305 (1981)

## A Study on the Fabrication of Oil Seal Apparatus by use of the Magnetite Magnetic Fluid

S. W. Kang, Y. S. Kim

Department of Metallurgical Engineering,

Dong A University, Pusan 602-714

(Received 23 September 1994, in final form 6 December 1994)

This paper describes the fabrication of the hydrophilic magnetic fluid with high viscosity and its application to oil seal apparatus used with the Nd-permanent magnet. The results are as follows.

- 1) The ultrafine magnetite particles under the size of 100 Å are first coated by the oleic acid ion and again adsorbed by the hydrophilic D. B. S. ion, and thereby hydrophilic magnetic fluid with high viscosity could be made by dispersing them into the ethylene glycol.
- 2) In development of the oil seal apparatus using magnetic fluid and Nd-permanent magnet, the viscosity and magnetic susceptibility show high when the Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> content is over 50% (g / cc) in the fluid, so that such properties could improve highly the capability of oil seal.
- 3) The maximum of the resisting pressure of the oil seal using the ethylene glycol base magnetic fluid and the Nd-permanent magnet, is about 50 g / cm<sup>2</sup>, under the condition of this experiment. Therefore the oil seal may not be suitable for the ship engine and the driving part of the automobile, and thus it needs a lot further complementary research. However, it is quite favourable for such an oil seal apparatus as speed reducer under the condition of atmospheric pressure.