[논 문] 한국재료학회지
Korean Journal of Materials Research
Vol. 12, No. 4 (2002)

자성 유체의 특성 및 응용

이 효 숙†
한국지질자원연구원

What is Magnetic Fluid?

Hyo Sook Lee†
Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Taejeon, 305-350

(2002년 2월 7일 받음, 2002년 3월 28일 최종수정본 받음)

Abstract Magnetic fluid is a very stable colloid that is attracted by magnetic force as wholly. The magnetic fluids is composed with 10 nm magnetic materials such as magnetite, iron etc., which is dispersed homogeneously in solvent by coating surfactant on their surface. Also this colloid is not separated into magnetic particles and solvent even under magnetic field, centrifugal force, gravity. Due to these properties, the magnetic fluids is used in high vacuum seal, exclusion seal, damper, etc. I would like to introduce the specific properties and applications of the magnetic fluids.

Key words : magnetic fluids, nano particle, exclusion seal

1. 서 론

나노크기의 자성재료는 고밀도 자기기록매체, 양자정보처리기능 소재 개발의 가능성을 예시하고 있어 많은 관심이 모아지고 있다. 그러나 아직까지 10 나노미터 이하의 자성분말은 초상자성을 나타내므로 기록매체로서는 실용화를 거두지 못하고 있다. 이러한 나노크기의 자성분말의 초상자성을 응용한 것은 자성유체(magnetic fluid 혹은 ferro fluid)로서 산업에 응용하고 있다.

자성유체란 수 나노미터에서 십 나노의 균일한 크기의 강자성체 초미립자를 계면 활성제로 조밀하게 피복한 후, 용매 중에 안정하게 분산시켜 유체 자신이 외관상 자성을 띄게 만든 자성 콜로이드를 말한다. 이 콜로이드 용액은 어떠한 자력, 중력 또는 원심력장에서 분산질인 강자성체 초미립자가 농축되거나 침강하여 고.액 분리되지 않는 특성을 갖는다.

자성유체는 1963년 미국 NASA에서 S. Pappel[1]이 자철광(magnetite), 계면활성제, kerosene을 ball mill에 함께 넣고 1000시간 정도 분쇄하여 제조한 것이 최초의 개발이었으며, 이를 우주복 관절부의 씰, 무중력상태에서 로켓의 연료공급용으로 사용하기 시작하였다. 그 후 1972년에 일본 Shimoizaka 의 공침법에 의한 나노크기의 magnetite 제조 기술 개발로 자성유체의 개발과 응용은 급속히 발전되어, 현재 사용되고 있는 자성유체의 종류는 약 70 여종에 이른다.[2~7]

자성유체의 종류가 다양한 만큼 용도도 매우 다양하여 컴퓨터하드디스크 드라이버의 방진씰(exclusion seal), 10^{-6}~^{8} torr 정도의 고진공 장비, 반도체 제조 장비 등 첨단 장비에 필수적으로 사용되고 있다. 현재 국내 자성유체 수요는 하드디스크 드라이브의 방진 씰, 스피커의 댐퍼, 자기기록 매체의 자구패턴 검사 등에 사용되고 있으며, 본 연구자는 이러한 자성유체 제조 및 응용에 관하여 발표한 바 있다.[8,9] 국내 자성유체의 수요는 매년 크게 증가하는 추세를 보이고 있지만, 일본 수요량의 1/200 수준이다. 자성유체의 수요가 첨단기술 개발의 척도에 비유되기도 하는데 그 이유는 자성유체의 용도가 정보전자산업, 생명과학, 나노기술 등을 망라한 복합적인 첨단기술의 결정이기 때문이다. 따라서 본 논문에서는 나노크기 자성재료의 활용으로 이제까지 개발된 자성유체에 대한 특성과 응용에 대해 소개하고, 미래 응용 가능한 분야에 대하여 언급하고자 한다.

2. 자성유체의 구조와 특성

2.1 자성유체의 미시적 구조

자성유체의 자성을 나타내는 magnetite(Fe_3O_4)의 강자성 미립자는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 흡착성의 관능기(functional·radical)를 갖는 사슬구조의 계면활성제 분자로 표면이 피복되어 액체 중에 고밀도로 분산되어 있다. 계면활성제 분자는 미립자간에 강한 인력을 방해하는 분자 스페이서(spacer)의 역할을 하고, 동시에 미립자와 주위의 액체를 끌어들이는 역할도 한다. 이로 인해 미립자는 열운동을 하며 응집하지 않고 안정하게 분산된다. 계면활성제 분자는 카르복실기(-COOH, -COONa), 술폰기(-SO_3H, -SO_3Na), 포스폰기(-PO_3H_2, -PO_3HNa), 아미노기(-NH_2) 등의 극성기를 갖는 유기물과 극성이 작은 succinic

† E-mail: hslee@kigam.re.kr

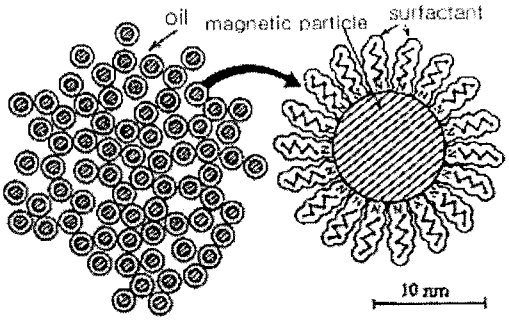

Fig. 1. Model of magnetic fluid structure

acid imide와 에틸렌 oxide 등도 있다. 계면활성제의 꼬리 부분은 길이 2-4 nm의 사슬 또는 환상의 비극성기가 있고, 분산매분자와 구조가 유사하여 분산매에 대하여 균일하게 분산될 수 있다. 따라서 자성 미립자 표면에 흡착한 분자 피복정도가 클수록 자성유체의 응집에 대한 안정성이 커진다.

2.2 자성유체의 분산안정성

강자성체를 충분히 작게 미세화하면, 내부에 자벽이 없을 때가 안정하므로 단자구 구조를 이룬다. 따라서 각각의 미립자는 다음 식과 같은 자기 모멘트 m을 갖는 영구자석이 된다.

$$m = V\ I_0$$
$$= 1/6\ \pi d^3\ I_0 \qquad (1)$$

I_0는 미립자를 구성하는 물질의 포화자화
V는 미립자 체적
d는 미립자 직경

이러한 2개 미립자 사이의 정자기 Potential 즉 쌍극자 상호 작용 Potential Φ_M은 다음 (2) 식과 같다.

$$\Phi_M = \frac{1}{4\pi\mu_0\gamma_3}\left\{(m_1,m_2) - 3\frac{(m_1\cdot\gamma)(m_2\cdot\gamma)}{\gamma_3}\right\} \qquad (2)$$

m_1, m_2 : 미립자 1과 2의 자기 모멘트
γ : 미립자 1과 2의 벡터
μ_0 : 진공에서 투자율

m_1. m_2의 자기모멘트가 평행이고 직선상에 병행할 때 인력은 최대가 된다.

$$\Phi_M = -\frac{1}{2\pi\mu_0}\frac{m^2}{\gamma^3} \qquad (3)$$

여기서 $m_1 = m_2 = m$, 계면활성제 피복층의 두께를 ε라 하면, 2개의 입자가 가장 근접해 있을때 정자기 포텐샬 Φ_M은

$$\Phi_M = -\frac{1}{2\pi\mu_0}\frac{m^2}{(d+2\varepsilon)^3}$$이 된다. (4)

이의 정자기적인 상호작용이 열에 의해 활발히 움직여 미립자가 응집하지 않기 위하여는

Table 1. The limited diameter of magnetic powder to avoid cohesion

	I_S(RT)	d_c[nm]	
		ε=2 nm	ε=4 nm
Fe_3O_4	6030	10	12
Fe	21500	5	7
Co	17600	6	7
Ni	6090	10	12

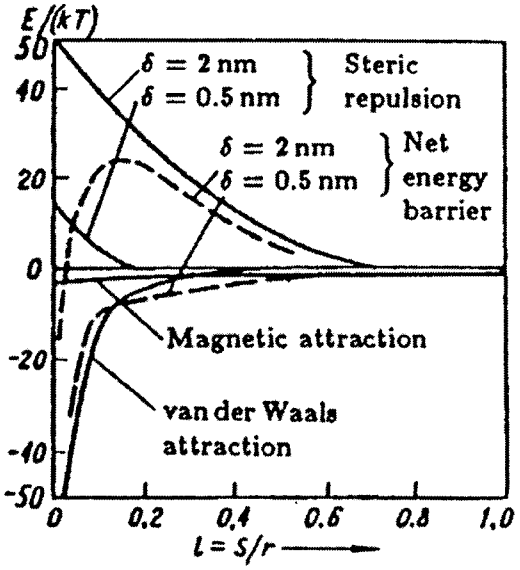

Fig. 2. Potential energies of monodispersion magnetite 10 nm diameter particles[17]

$$\phi'_M \leq kT \qquad (5)$$

가 되어야 한다. 여기서 k는 Boltzman 상수, T는 절대온도이고, 식의 조건으로부터 미립자계가 안전하게 분산할 미립자의 한계 직경 d_c를 구할 수 있다. Table 1은 여러가지 강자성 재료에 관한 계면활성제 피복 두께 ε을 가정했을 때 d_c의 값을 나타낸다.

Table 1에서 Fe, Co와 같이 포화자화가 큰 강자성 금속입자를 사용한 금속계 자성유체는 미립자 직경이 Fe_3O_4보다 훨씬 작아야 함을 알 수 있다. 그 한계 직경을 초월한 큰 입자가 섞여 있으면 이것을 핵으로 하여 다른 입자들이 응집하여 큰 cluster를 만들어 자성유체는 불안정하게 된다. 이러한 입자 직경은 입자가 초상자성일 때는 다르다. 즉 미립자간에 상호작용으로 Van der Waals Potential ϕ_v가 있다. 이는 미립자 표면이 무극성일 때도 전하분포로 인한 쌍극자 모멘트에 의해 쿨롱 potential(분산효과) 이 있고, 2개의 크기가 같은 입자 사이의 ϕ_v는 다음 식으로 나타낸다.

$$\phi_v = -\frac{A}{6}\left\{\frac{2}{\ell^2+4\ell} + \frac{2}{(\ell+2)^2} + \ln\frac{\ell^2+4\ell}{(\ell+2)^2}\right\} \qquad (6)$$

A는 정수로 분산매 중의 Fe, 또는 Fe_3O_4 입자수는 약 10^{-19} N · m이고, ℓ 은 미립자 표면거리와 미립자 반경에

Table 2. Composition and Saturation Magnetization of Prepared Magnetic Fluids

Dispersed medium	Surfactant	Magnetic Fluid Sat.Magnet.(Gauss)	Applications
water	sodium oleate	40-50	Separat. of nonfer, ferro metals
kerosene	oleic acid	95-300	Remove of waste oil
hydrocarbon	oleic acid	60-200	Sensor, Speaker damper
transformer oil	oleic acid	90-500	Damper, Brake system
minreal oil	oleic acid	65-200	Grind of spherical lens
perfluorinated liquid	perfluorinated ethers	42	Non corrosion seal
vacuum oil	oleic acid	70-300	Exclusion seal, Vacuum seal
synthetic oil	oleic acid	50-200	Exclusion seal, Vacuum seal

대한 비로 $\ell = 2(r-d)/d$이다. Van der Waals에 의한 힘은 인력으로 큰 힘이지만, 미립자 표면을 계면활성제로 피복하여 미립자끼리 서로 접촉하지 않게 한다면 이 힘에 의한 입자끼리의 응집을 막을 수가 있다. 또한 표면에 긴 사슬의 flexible한 분자로 피복한 미립자가 접근하면 입자간에 반발력이 작용한다. 이 힘을 입체장해반발력이라 하며, 입자끼리 가까워짐에 따라 흡착한 탄화수소 사슬끼리 서로 반발하는 힘을 말한다. Mackor에 의한 2개의 큰 구 사이의 입체장해 반발력 potential ϕ_s은 다음 식 (7)과 같다.[10]

$$\frac{\phi_s}{kT} = \frac{\pi d^2}{2} N\left\{2 - \frac{\ell+2}{2\varepsilon/d}\ln\left(\frac{1+2\varepsilon/d}{1+\ell/2}\right) - \frac{\ell}{2\varepsilon/d}\right\} \quad (7)$$

여기서 N은 미립자 표면의 단위면적당 흡착분자수이다. $r-d=2\varepsilon$ 즉 $\ell/2=2\varepsilon/d$일때 $\phi_s=0$으로 이것은 미립자끼리 가장 멀리 있는 상태이고, 또 $r-d=0$ 즉 $\ell=0$일 때 ϕ_s는 최대치가 되며 이는 입자끼리 표면이 서로 접한 상태를 의미한다.

그러므로 자성유체의 분산 응집의 성질은 potential의 합으로 (8)식에 의해 평가 할 수 있다.

$$\phi_M + \phi_v + \phi_s \quad (8)$$

Fig. 2에는 $d=10$nm의 Fe_3O_4 미립자에 분자사슬길이가 2nm인 계면활성제분자로 피복할 경우, 실제 각 포텐샬을 실온의 kT를 단위로 하는 미립자 중심간 거리 r/d의 함수로 표시하였다. 여기서 N은 $1\times10^{18}/m^2$이다. 점선으로 표시한 포텐샬의 총합으로부터 콜로이드의 안정성을 유지하기 위하여는 입체장해반발력에 좌우됨을 알 수 있다. 자성유체가 자기적 구배(勾配)와 가속도가 큰 상태에서도 높은 안정성을 갖기 위하여는 입체장해반발력의 크기가 10 kT 이상일 필요가 있다.

3. 자성유체의 종류

자성유체는 크게 나누어 magnetite와 같은 강자성 초미립자인 분산질과, 물, 에스테르, 케로신, 합성유와 같은 분산매(carrier)로 구성되어 있다. 자성유체는 분산질의 종류에 따라 산화물계 자성유체와 금속계 자성유체로 분류된다. 현재 상품화된 자성유체는 거의 산화물을 분산질로 사용하고 있으며 그 예를 Table 2에 나타내었다.

산화물계 자성유체는 분산질 자체의 자화 값이 금속분말에 비하여 낮기 때문에 자성유체의 포화자화값이 40-500 Gauss 정도이다. 이에 반해서 자화값이 큰 금속, 예를 들면, 철, 코발트, 질화철 및 철합금을 분산질로 사용하면 최고 1500 Gauss 이상의 포화자화를 갖는 자성유체를 얻을 수 있다. 그러나 이러한 금속계 자성유체는 분산질이 나노크기의 금속분말로 쉽게 산화되면서 자화값은 급격히 떨어진다. 이와같은 이유로 금속계 자성유체는 아직도 상품화가 이루어지지 않고 있다. 산화를 방지하기 위한 노력으로 본 연구자는 나노크기 질화철입자에 티타늄, 코발트 등을 피복하여 자성유체를 제조한 바 있으며, 이러한 금속피복으로 산화시간을 지연하는 효과가 있었으나 1008시간 후에는 산화되었다.[11]

또한 자성유체 제조시 분산매와 계면활성제의 종류에 따라 자성유체의 특성이 다양해지며 이에 따른 용도도 달라진다. 특히 매우 안정한 실리콘오일을 분산매로 한 자성유체의 제조 기술 개발이 이루어지면, 자성유체의 용도는 크게 확대될 것으로 기대되어 세계적인 관심분야가 되고 있다.

4. 자성유체 활용

자성유체의 응용기술은 크게 회전축의 밀봉기술, 자화를 갖는 유체로서 응용, 자기광학효과 등에 활용되고 있으며 대표적인 활용의 예를 제시하였다.

4.1 회전축의 밀봉기술

회전축 씰은 메카니칼 씰, 오일씰 등이 일반적으로 사용되고 있지만, 이러한 씰은 이물질의 혼입 또는 가스의 누출 등을 완전히 방지할 수는 없다. 특히 고속으로 회전하는 축은 씰링이 더욱 어렵기 때문에 누출정도가 "0"인 시스템은 자성유체 씰을 사용하고 있다. 자성유체 씰의 원리를 간단히 나타내면 Fig. 3과 같다.

Fig. 3에서와 같이 회전축에는 2개의 원판모양의 자성체가 될 수 있는 폴 브럭(pole block)이 있고, 그 사이에는 자석이 끼어 있다. 자석은 축방향으로 자화되어야 하며, 회전축도 자성체가 될 수 있어야 한다. 회전축과 폴브럭사이에 자성유체를 주입하면 자장이 강한 곳에 모이게 된다. 즉 폴브럭A→자석→폴브럭B→자성유체 → 회전축→ 자성유체 →폴브럭A와 같은 자기회로가 생겨서 자성유체가 회전축과 폴브럭을 연결하여 밀봉의 역할을 한다. 따라서 자성유체씰은 다음과 같은 특징을 갖는다. ① 고체와 액체가 접

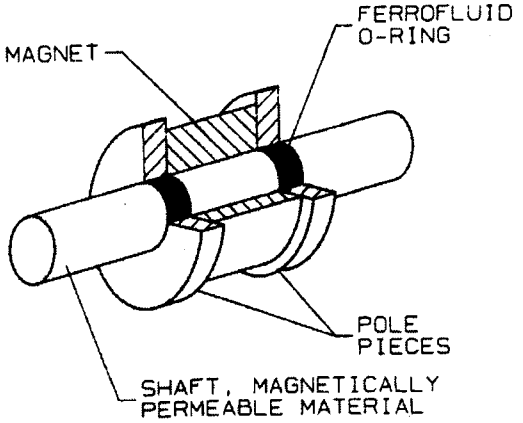

Fig. 3. Basic elements of a magneticfluid exclusion seal

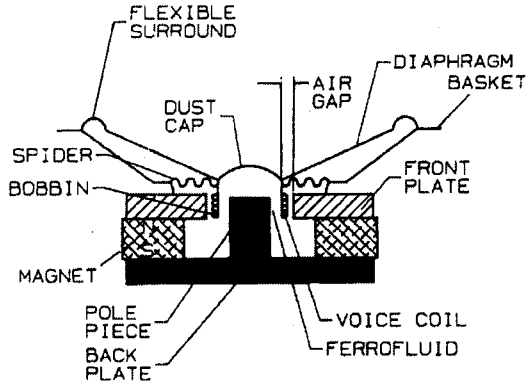

Fig. 4. Application of magneticfluid for dynamic loudspeaker

촉하는 씰로서 높은 기밀성을 갖는다. 특히 진공씰의 경우 10^{-8} torr까지 유지한다.② 메카니칼씰의 경우 마찰에 의한 마모나 마모에 의한 분말의 오염이 있으나, 자성유체 씰은 마모가 없는 방진씰로 장시간 사용할 수 있다. ③ 종래 오일씰이나 메카니칼 씰의 경우 정교한 가공을 요구하지만 자성유체씰의 경우, 씰의 형상, 재질, 접촉압등의 주의를 요하지 않는다. ④ 고속회전시에도 마찰에 의한 열과 이상한 괴음을 발생하지 않는다.

이러한 특징을 갖는 자성유체 씰은 고진공을 요하는 반도체 제조장비, 광섬유, 레이저, X-선 기기, 열처리기기, 결정성장기기, 항공전자공학, 컴퓨터 하드디스크 방진씰 및 초전도발전기 등에 사용되고 있다.

4.2 자화를 갖는 유체로서 응용기술

서론에서 언급한 바와 같이 자성유체가 발명될 때부터 유체로서 자석에 강하게 끌리는 성질을 이용한 다양한 용도가 개발되어 왔다. 각각의 용도를 열거하고 간단하게 원리를 소개하면 다음과 같다:

① 비중차 선별: 자동차나 기계부품의 스크랩 등과 같이 비중차가 있는 금속들이 혼합되어 있을 때 비중의 중간정도 되는 유체를 써서 가벼운 알루미늄 등은 부유시키고, 무거운 동, 철 등은 가라앉혀 선별하는 기술이다. 자성유체를 사용하여 자기구배를 두면 자성유체의 비중 조절이 가능하므로 비중이 다른 금속을 선별하여 회수할 수 있다. ② 열엔진: 자성유체의 자화 M이 온도가 올라감에 따라 감소하고, 어느 온도(T_c)에서는 자화 M이 "0"이 되는 것을 이용하여 엔진을 만들 수 있다. ③ 점도제어: 자성유체에 자장을 가하면 점도가 변화하는 성질을 이용한 댐퍼, 예를 들면 천평이나 광학기기를 올려놓는 제진대에 사용하고 있다. ④ 방열효과: 스피커의 보이스코일은 음성신호의 전류를 통하여 신호의 크기를 자기력으로 변화시키고, 코일에 부착된 진동판을 떨리게 하여 소리를 나게 한다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 보이스코일과 진동판 사이에는 공극이 있으므로 자기회로의 자기저항을 크게 하는 원인이 된다. 따라서 보이스코일과 진동판사이에 방열효과가 뛰어난 자성유체를 넣어 줌으로써 자기저항을 작게 하여 대출력의 고성능 스피커가 된다. ⑤ 프린터 : 자성유체 자체가 잉크의 성질을 갖고 있어 자성유체를 이용한 MFG 방식의 프린터가 개발되었다. ⑥ 윤활유: 자성유체 분산매를 스핀들유와 같은 윤활유를 사용하여 제조한 자성유체를 세선인발기의 윤활유로 사용한다. ⑦ 엑츄에이터: 자성유체를 변형가능한 캡슐에 채우고 전자석으로 자장을 가하면 자장에 따라 캡슐모양은 타원체로 변형한다. 이러한 특성을 이용하여 로봇의 움직이는 엑츄레이터로 활용하기도 한다. ⑧ 자성유체 연마: 초정밀기계의 가공에서 표면연마를 행할 때 자성유체가 사용된다. 자석판 위에 연마할 실리콘이나 렌즈, 금속등을 자성유체에 넣고 부유시켜서 연마하면 구형이나, 곡면을 정교하게 연마할 수 있다. ⑨ 각종 센서: 원심력스윗치, 경사센서, 가속도센서, 회전속도 센서에 자성유체를 이용할 수 있으며, 그 원리에 대하여는 武富 荒의 "자성유체"에 언급되어 있다.[12]

4.3. 자기광학 효과의 응용기술

자기광학 효과란 자성유체를 박막에 피복하고 자장을 가하면, 가한 자장크기에 따라서 빛이 투과하는 정도가 크게 다르다. 즉 자성유체는 흑색 불투명 액체로 빛을 투과하지 못하나 수십 마이크론의 두께로 박막에 입히고 자장을 가하면 복굴절 현상이 생긴다. 자성유체 박막의 복굴절현상은 이제까지 알려진 니트로벤젠의 복굴절효과보다 $10^7 \sim 10^8$ 배 정도 크다. 자성유체 박막이 복굴절을 하는 이유는 자성유체의 미립자들이 자장을 가하지 않으면 개별적으로 브라운 운동에 의해 흩어져 있으나, 자장을 가하면 입자들이 응집하여 사슬모양의 클러스터를 만든다. 클러스터는 자장방향으로 길게 정렬을 하게 되어 전기분극율이 방향에 따라 다르게 되어 유전율이 생긴다. 복굴절율은 유전율의 평방근에 근사적으로 비례한다. 이러한 자성유체의 복굴절현상인 자기광학효과를 자계센서, 광샤터, 광모듈레터, 자성유체 박막을 편광휠타로 한 액정표시소자, 광신호중폭기 등의 새로운 디바이스를 개발하는데 관심이 모아지고 있다. 또한 서종욱 등은 자성유체를 이용한 평판형 디스플레이 셀을 개발하는 연구를 진행중에 있으며 결과의 일부를 발표하였다.[13]

4.4. 기타 응용기술

자성유체의 입자는 마그네타이트, 철 혹은 철화합물로 인체에 유해하지 않고, 용매도 인체에 무해한 액체로 자성유체를 제조하므로 위에서 열거한 응용 이외에도 의학적으로

사용될 수 있다. 자성유체에 항암제를 분산시켜 인체에 주사하고 인체 외부에서 자석을 사용하여 항암제를 암세포 부위로 유도하므로 암세포만 집중적으로 치료하는 연구를 Ch. Alexiou[14] 등이 발표하였다. 또한 N.A. Brusentsov와 Gray[15,16] 등은 자성유체와 같은 자성물질에 자석을 가까이 하면 국부적으로 온도가 상승하게 되는데, 온열을 이용하여 암세포만을 치료하는 기술에 대하여 발표한 바 있다.

의료에 자성유체가 사용되는 이외에도 자성유체의 자성입자크기가 나노사이즈이므로 입자 표면적이 매우 크기 때문에 촉매로 사용될 수 있다. 특히 보일러에서 연료를 연소할 때 대기오염의 원인이 되는 NOx가 발생하는데 NOx 발생을 감소하는데 자성유체가 촉매로 사용된다. 마그네타이트와 같은 금속산화물 미립자를 촉매로 하면 NOx가 현저히 감소하는 것은 이미 잘 알려진 사실이지만 대공장에서 사용하는 보일러에 금속산화물을 사용하기에는 많은 비용이 든다. 그러나 값싼 자성유체를 대량으로 공급할 수 있으면 NOx를 감소하는데 효과가 뛰어난 촉매로 사용이 가능하다. 따라서 본 연구팀은 주성분이 마그네타이트인 폐촉매를 재활용하여 자성유체를 대량으로 저렴하게 생산할 수 있는 기술을 개발 중에 있다.

5. 결 론

자성유체는 특수목적으로 제조기술이 개발되었고, 이에 관한 이론적인 연구도 상당히 축적되어 가고 있다. 이와 같이 산업적 응용을 목적으로 개발된 자성유체는 씰, 댐퍼, 열전달 등이 주 용도이었으나, 앞으로는 최신 기계장치와 생명과학에 이르는 용도개발은 자성유체의 개발과도 밀접한 관계가 있다. 그러므로 자성유체의 응용기술은 산업현장의 복잡한 문제들을 신뢰성 있고 경제적인 해결방안들을 제시해 줄뿐만 아니라, 환경문제까지도 해결해 줄 수 있어서 앞으로도 계속하여 빠르게 발전하고 급속하게 확산되어 나갈 것이다.

참 고 문 헌

1. S.S. Pappel, US Patent 3215572, Nov. (1965).
2. J. Shimoizaka, K.Nakatsuka, J. of Japan Society of Powder and Powder Metallurgy, **V.19**, No.5, 189-193, (1972).
3. I. Nakatani, M. Hijikata, K. Ozawa, J. of Magn. Magn. Mater., **122**, No 1-3, 10-14, (1993).
4. K. Raj, R. Moskowitz, Commercial Applications of Ferrofluids, J. of Magn. Magn. Mater., **85**, 233-245, (1990).
5. F. Elias, C. Flament, et at, Phys. Rev.E., **56**, 3310-3318, (1991).
6. J.H. Oh. M. Kim, H.S. Lee, Proc. The 7th Intl. Conf. of Magnetic Fluids, 245-246, (1995).
7. J.H. Oh. M. Kim, H.S. Lee, Proc. The 7th Intl. Conf. of Magnetic Fluids, 247-248, (1995).
8. Hyo Sook Lee, Je Gwang Yoo, Befitting Test of Magnetic fluid to speak damper, J. of the Korean Magnetics Society, **8**(2), 93-98, (1998).
9. Hyo Sook Lee, Preparation of magnetic fluid for exclusion seal in hard disc drive, Korean-Pat 0256850, (2000).
10. E.L. Mackor, J. Colloid Sci., **6**, 492, (1951).
11. H.S. Lee, I. Nakatani, On the chemical stability of iron nitride magnetic fluids, J. of Magn. Magn. Mater., **210**, 23-26, (1999).
12. T. Shusamu, Magmetic fluid, Jap. Daily Tech Press, **79-83**, (1992).
13. J.W. Seo, H.S. Lee, et al, A study on the magnetic fluids flat panel display cell, Proc. The 9th Intl. Conf. of Magnetic Fluids, July 2001.
14. Ch. Alexiou, A. Schmidt, et al, Magnetic drug targeting, Proc. The 9th Intl. Conf. of Magnetic Fluids, July 2001.
15. N.A. Brusentsov, L.V. Nikitin, The investigation of properties of water protective screen for magnetic fluid hypothermia, Proc. The 9th Intl. Conf. of Magnetic Fluids, July 2001.
16. Gray, Targeted hysteresis hypothermia as a method for treating diseased tissue, US Patent 6167313, Dec. 2000.
17. V.E. Fertman, Magnetic Fluids Guidebook, Hemisphere Publishing Corporation, Minsk, 6, 1988.