

## 자성유체를 개입한 Micro Mechanical System에 관한 연구

김동욱\* · 김남균\* · 김부길\* · 勇田 敏夫\*

= Abstract =

### A Study of the Micro Mechanical System by Using the Magnetic Fluid

Dong-Wook Kim\*, Nam-Gyun Kim\*, Bu-Gil Kim\*, Toshio Yuhta\*

In this paper, we studied about the micro pressure transmission system using fluid. For the investigation of feasibility of microhydraulic system, the hydraulic characteristics were examined by using the capillary tube system and the micro cylinder system that consists of a rod and a micro capillary tube. A new hydraulic micro actuator using magnetic fluid and an external magnetic field was also investigated. The results showed that our microhydraulic system has the possibility of power transmission in arbitrary directions.

#### 1. 서 론

최근, micro electronics에 이용되어 왔던 초미세 가공기술의 target이 기계로 향하기 시작하여, micromachine의 연구가 활발히 진행되고 있다. micromachine의 응용으로써는 여러가지로 생각되어지나 그 중에서도 가장 응용의 가치가 있는 것은 의료 분야에의 응용이라 생각되어지며, 이들 기

술이 종래의 의료, 의학을 크게 변화시킬 가능성을 잠재하고 있다고 해도 과언은 아니다. 종래부터 존재해왔던 micro manipulator, micro capsule, micro surgery, 소구경 내시경등도 약간의 micromachine 기술을 결합함으로써 큰 혁신을 불러 일으킬 수 있는 영역이며, 장래에는 생체를 대상으로하는 치료기계로써 크게는 인공장기로부터 작은것으로는 체내를 움직이는 인공세포까지 micromachine 기술을 접합함으로써 "Quality of Life"의 큰 향상을 기대할수 있다

이들 micromachine을 성공시키기 위해서는 미소 가공법, micro energy source, micro actuator, micro sensor 등의 기술의 발전이 선두 되어야 한다. 따라서, 본 연구에서는 micromachine기술중에서 특히 microactuator에 관한 기초연구를 실시하였다.

지금까지 VLSI가공기술등을 이용한 microactua-

<접수 : 1993년 3월 8일>

# 日本 北海道大學 工學部 生體工學科

\* 전북대학교 의과대학 의공학과

\* :Department of Biomedical Engineering Faculty of Engineering, Hokkaido University  
North 13, West 8, Sapporo, Japan

\* :Department of Biomedical Engineering  
Chonbuk National University Medical School.

tor, micro gear train 등이 발표되어 있으나<sup>1), 2)</sup>, 이들은 임의의 방향에 동력을 전달하는 것은 어려운 실정이다. 그러나, 유체를 이용한 microsystem은 이 문제를 해결할 가능성을 내포하고 있다.

미소유체회로는 세포조작 등의 분야에서 연구되어 있으나<sup>3), 4)</sup>, 회로 중의 유체의 역학적인 성질에 관해서는 마찰저항, 점성 등이 크게 영향을 끼친다고 말되어지고 있을뿐, 구체적으로는 연구되어 있지 않다<sup>5)</sup>. 또한, 장래에 혈관내를 이동하는 micro-machine을 개발하는 경우에 있어서도 수력학적, 유체적 특성은 크게 영향을 끼치리라 생각되어진다.

따라서, 본 연구에서는 유체를 이용한 micromechanism의 기초적 연구로써

1) Microcylinder를 사용하여 압력 전달에 있어서의 손실, microcylinder의 압력에 대한 응답을 조사하여 system의 설계에 사용 가능한 수식model등을 검토하여 micro hydraulic system의 실현 가능성 검토.

2) 유체를 직접 구동하는 새로운 microactuator로써, 외부자장에 의해 구동되는 자성유체를 사용하는 것을 고안하여<sup>6)</sup> 발생 가능한 자기압에 대한 기초 검토등을 목적으로 한다.

## 2. 실험 방법

### 2. 1 Microcylinder의 수력학적 특성

Microcylinder에서의 전달되는 힘을 측정하기 위하여 Fig.1에 나타내는 실험system을 사용하였다.

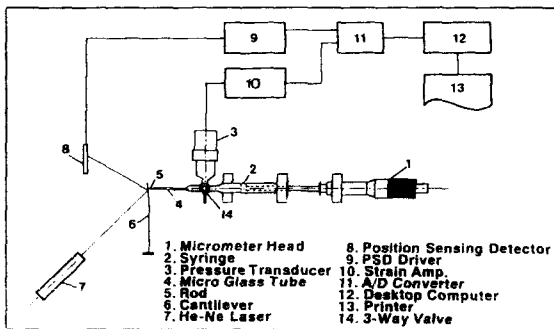


그림 1 마이크로실린더계의 실험장치 개략도

Fig. 1 Schematic Diagram of Experimental System for Microcylinder System

micrometer head(Mitutoyo, MHH2-25)를 돌려서 syringe내의 glycerine용액에 압력을 가하면 모세관 속에 들어 있는 rod가 압력을 받아서 움직이게 된다. 이때, rod는 cantilever에 힘으로 작용하여 cantilever에 변위가 생기게된다. 이 변위를 측정하기 위하여 cantilever면에 laser(uniphase, 1103)광을 반사시켜 반사된 광의 이동 거리를 PSD(Position Sensing Detector, SiTek, 1L10)로 측정하여, 변위로부터 계산한 힘과 압력센서(KYOWA, PGM-1KG)로 부터의 압력과 비교하였다. microcylinder는 직경200, 400, 600 $\mu$ m의 모세관과 직경150, 330, 500  $\mu$ m의 rod에 의해 구성되었으며, 작동유체로서는 glycerine수용액을 사용하였다.

Microcylinder의 동특성을 기술 가능한 수식 모델을 얻기 위하여 step입력에 대한 응답 특성의 simulation을 행하여 실험 결과와 비교하여 검토하였다. simulation에 있어서는, 본 실험system은 Fig. 2의 (a)에 나타내는 것과 같이 spring을 부하로 하는 cylinder이기 때문에, 수력학적으로는 식(1)의 형식으로 기술이 가능하다고 생각한다. 식(1)의 제 2항의 점성 항에는 Fig.2의 (b)와같이 cylinder내의 rod의 운동을 평행평판 운동으로 간략화하여 평행 평판 사이에서 유체가 층류유동할때에 고정평판에 작용하는 전단응력 식(2)를 이용하여 simulation을 행하였다.

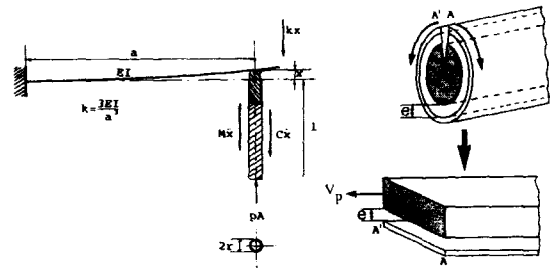


그림 2 시뮬레이션 모델

Fig. 2 Simulated Model

$$M \frac{dx^2}{dt} - C \frac{dx}{dt} - kx + pA = 0 \quad (1)$$

$$\tau = \mu \frac{du}{dt} = \frac{Vp}{e} - \frac{e}{2} \frac{dp}{dx} \quad (2)$$

여기에서, M=질량, C=점성 계수, k=스프링 상수, p=압력,

A=모세관의 단면적,  $r$ =전단응력,  $\mu$ =점성 계수,

$V_p$ =평판(Rod)의 속도,  $e$ =평판 사이의 gap

## 2. 2 자성유체를 사용한 Hydraulic Microactuator

Fig.3은 자성유체에 외부자장을 가하였을 때 발생하는 자기압을 조사하기 위한 실험 장치이다. 모세관에 일정량의 자성유체(Fellicolloid, Taiho Industry)를 주입한 뒤 solenoid를 모세관을 감싸는 것처럼 고정하였다. solenoid는 gap이 존재하는 환상의 탄소강을 중심으로 하여 에나멜선을 1500회 감아서 제작하였다. solenoid에 흐르는 전류는 switching 회로를 통하여 제어하여 DC 또는 pulse 전류를 solenoid에 흘렸다. 가하는 자장은 peak current, pulse의 duty ratio, 주파수로서 결정되는 변동 자장이다. 자기압은 자장에 의해서 자성 유체에 발생하는 압력이다. 전류에 의해 solenoid의 gap에 자장이 발생하여서, 이것이 모세관 중의 자성유체를 보지 하여, 어느 정도의 압력하에서는 자성유체는 움직이지 않는다. 그러나, 모세관에 걸여주는 압력을 증가시키면, 어느 일정한 압력을 초과하면 자성유체가 움직이기 시작한다. 여기에서는 이때의 압력 즉, 자기보지력을 자기압으로 정의하여 상기의 parameter 및 모세관경의 변화에 따른 관계를 조사하였다.

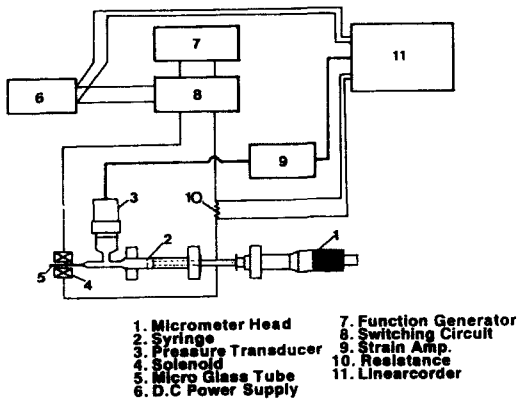


그림 3 자성유체계의 실험장치 개략도  
Fig. 3 Schematic Diagram of Experimental System for Magnetic Fluid System

## 3. 실험결과 및 고찰

Fig.4는 모세관의 직경이  $200\mu\text{m}$ , rod의 직경이

$150\mu\text{m}$ , 점도가 88cps의 경우에 전달된 힘을 측정 한 결과들이다. 최고 압력 557mmHg의 때에 0.18gf의 힘이 전달되었다. 그때에 모세관과 rod의

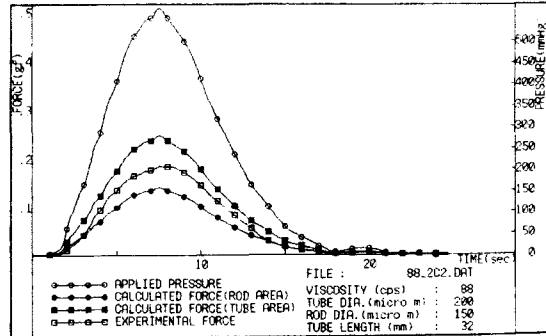
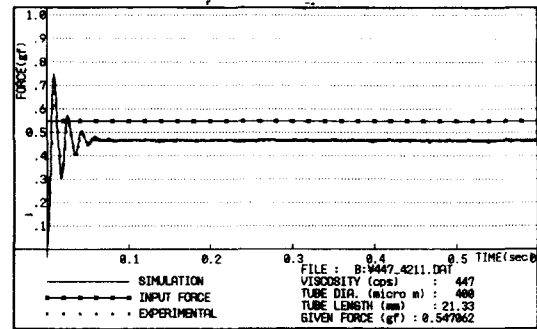
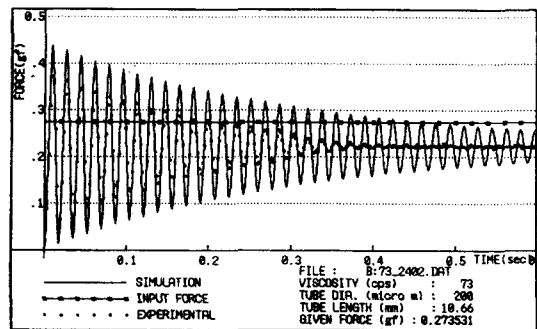


그림 4 마이크로실린더에 의한 힘의 전달  
Fig. 4 Transmission of Force by Microcylinder  
(Diameter :  $200\mu\text{m}$ , Viscosity : 88cps)



(a)



(b)

그림 5 시뮬레이션결과와 실험결과의 비교  
Fig. 5 Comparison of Experimental Data with Simulated Step Response

단면적을 이용하여 환산한 힘은 각각 0.25gf과 0.14gf으로써 측정치의 74%, 130%이다. 전달된 힘은, rod의 면적으로 환산한 힘을 크게 상회하고 있으므로, 힘의 극단적인 손실은 없다고 평가할 수 있다.

Fig.5는 cylinder에 step상태의 압력을 가한경우의 과도응답특성을 실험결과와 simulation의 결과를 보여 준다. (a)는 점도 447cps, 관경 400 $\mu$ m, 관의 길이 21.33mm의 경우의 결과로써 실험결과와 simulation결과는 거의 일치하고 있다. (b)는 점도 73cps, 관경 200 $\mu$ m, 관의 길이 10.66mm의 경우의 결과로써 실험결과와 비교하면 simulation의 감쇠 부족이 보인다.

Fig.6은 step응답의 실험결과와 simulation결과를 종합하여 대수감쇠비를 기준으로 평가한 graph이다. 감쇠비  $\zeta=0.05$ 이하에서는 실험결과와 simulation은 큰 차이가 있으나, 감쇠비  $\zeta=0.05$ 이상에서는 실험결과와 거의 일치하는 결과를 보여 준다. 그러나,  $\zeta=0.05$ 이하의 저감쇠비 경우는 실제의 응용에 있어서 제어의 곤란, 누설 등의 이유로 사용이 어렵게 되므로, 실제의 설계에 있어서는 감쇠비  $\zeta=0.05$ 이상의 system이 대부분이라 생각된다. 따라서, 본 simulation model은 system설계에의 사용가능성은 충분하리라 생각된다.

Fig.7은 직경 70, 100, 200, 400 $\mu$ m의 모세관을 사용하여 solenoid에 직류전류를 가한 경우, 자장과 자기압의 관계를 나타낸 것이다. gap의 간격은 일정하므로 자장의 강도는 관경에 따라서 영향을 받

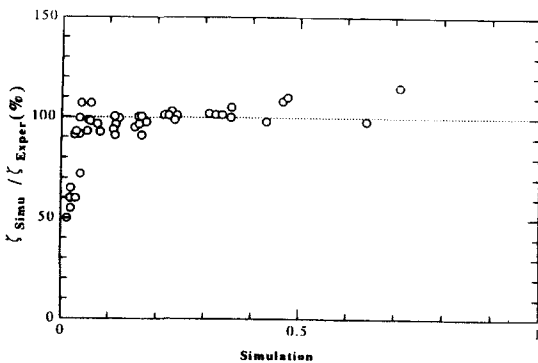


그림 6 실험결과와 시뮬레이션결과의 평가  
Fig. 6 Estimation of Simulation and Experimental Data

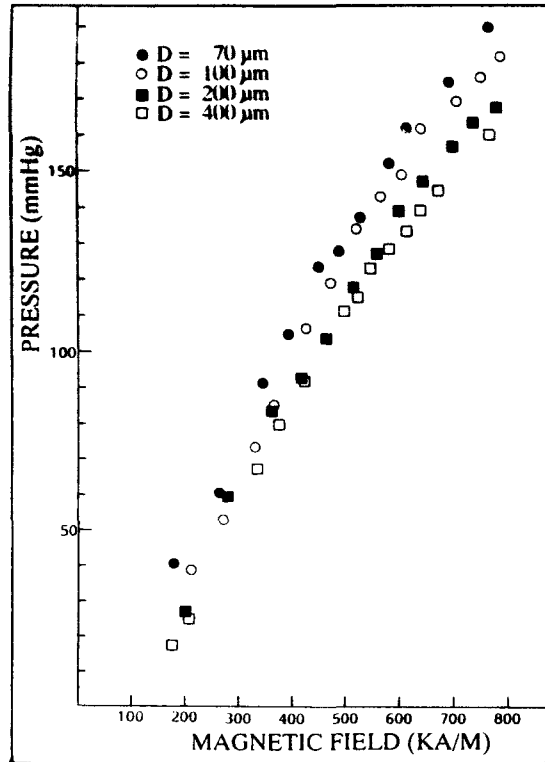


그림 7 여러가지 직경에있어서의 자장과 자기압의 관계

Fig. 7 Relationship between Magnetic Pressure and Magnetic Field on Various Diameter

지 않을 것이나, 관경이 작을수록 자장당의 자기압이 높은 것을 보여 준다. 이것은 모세관의 표면에 작용하는 표면장력에 기인한다고 생각되어진다.

Fig.8은 동일 주파수에서 pulse의 duty를 변화시켰을 때에 얻어진 자기압의 특성을 보여 준다. pulse의 주파수를 10Hz로 고정하여, pulse의 duty를 20%-100%까지 변화시켰을 때의 결과로써, (a)는 모세관경이 70 $\mu$ m의 경우의 결과이고, (b)는 모세관경 400 $\mu$ m의 경우의 결과이다. (a)의 결과를 보면 자기압은 전류의 증가와 함께 증가하나 증가의 비율은 duty가 높을수록 커서 대개 duty에 비례하는 관계를 보여 준다. 그러나, (b)는 (a)의 결과와는 크게 틀려서 모세관경이 pulse의 duty와 자기압의 관계에 크게 영향을 주는 것을 알수 있다.

Fig.9는 직경 70 $\mu$ m의 모세관을 사용하여, duty를 50%로 고정시키고, pulse의 주파수를 2-30Hz로 변

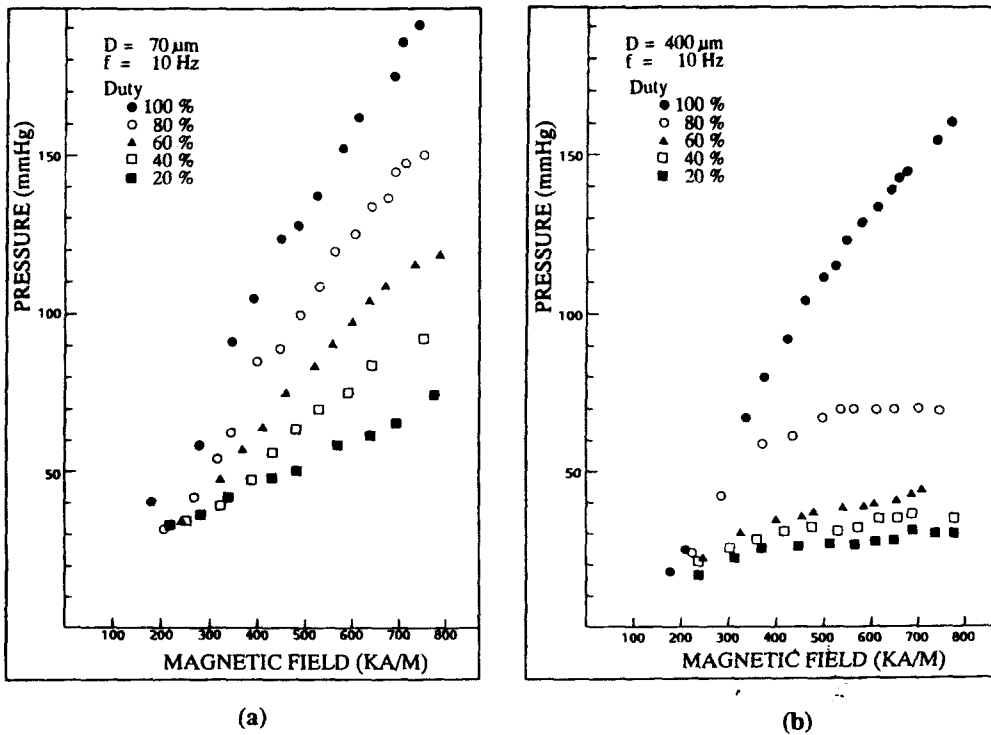


그림 8 여러가지 duty에서의 자장과 자기압의 관계

Fig. 8 Relationship between Magnetic Pressure and Magnetic Field on Various Duty

화시켰을 때의 자기압 특성을 보여 준다. 주파수를 상승시키에 따라서 자기압은 직류의 경우에 가까워짐을 알 수 있다. pulse의 duty가 50%이므로 전력은 직류의 경우의 절반 정도이다. 그러나, 얻어진 자기압은 직류의 약50%-80%의 사이로써 상대적으로 전력의 면에서는 직류보다 교류가 유리한 것을 알 수 있다.

Fig.10은 2조의 자성유체와 solenoid에 의한 micro-actuator의 일례이다. 2조의 solenoid를 ON/OFF 제어함으로써 자성유체를 전방 후방에의 이동이 가능하다. 이때에 발생 가능한 동자기압을 직경  $20 \mu\text{m}$ 의 모세관을 사용하여 DC전류를 작용시켜서 실험하였다. (b)는 자기압과 자장과의 관계로써 동자기압은 정자기압에 비하여 감소하나 자장 600KA/m의 때에 100mmHg의 압력을 발생하여 microactuator에의 응용의 가능성을 시사하였다. (c)는 이상의 실험결과에 기초한 3-way valve의 설계도로서 그림과 같이 각각의 solenoid의 제어에 의해 3-way valve의 제어가 가능하다.

#### 4. 결 론

Microcylinder를 이용하여 압력전달특성을 실험한 결과 전달된 힘은 극단적인 손실이 없어서 microhydraulic system에 의한 압력전달기구는 충분한 가능성이 있는 것을 보여 주었다. 또한, 감쇠비  $\zeta=0.1$ 이상의 system에서는 simulation결과와 실험결과가 거의 일치하고 있어 보통size의 수력학적인 식으로써 actuator의 설계가 가능한 것을 보여 주었다.

자성유체를 외부자장으로 구동시키는 micro-actuator는 현단계에서는, solenoid가 mm order의 크기가 아니면 제작에 어려움이 있으리라 생각된다. 그러나, 유체를 직접 구동이 가능하다는 다른 종류의 actuator가 가지지 않는 큰 장점이 있어 금후 microsolenoid의 발전에 의하리라고는 생각되나, 실험한 size에서는 방향 제어 valve등의 사용 가능성을 시사하였다.

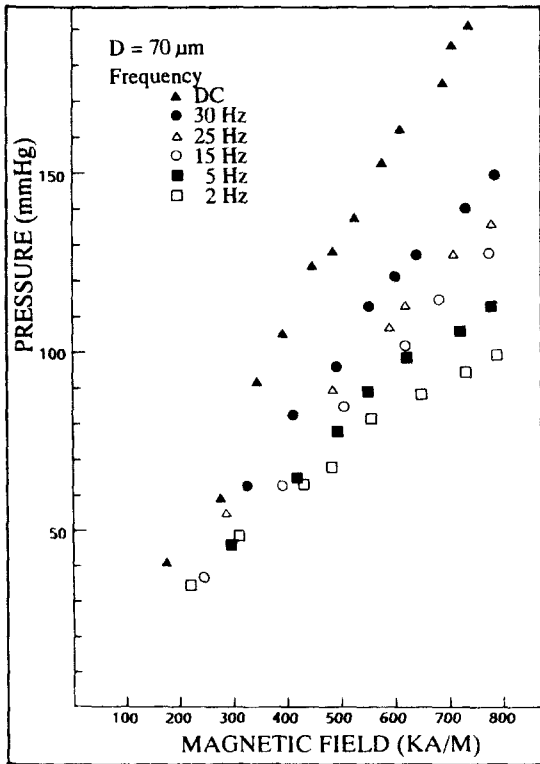


그림 9 여러가지 주파수에 있어서 자장과 자기압의 관계

Fig. 9 Relationship between Magnetic Pressure and Magnetic Field on Various Frequency

참고 문헌

- 1) L.S.Fan, et al., "IC-Processed Electrostatic Micromotors", *Sensors & Actuators*, Vol. 20, pp.41-48(1989)
- 2) Y.C.Tai, et al., "IC-Processed Electrostatic Synchronous Micromotors", *ibid*, pp.49-56 (1989)
- 3) S.Masuda, M.Washizu and T.Nanba, "Novel Method of Cell Fusion in Field Constriction Area in Fluid integrated Circuit", *Conf. Rec. IEEE/IAS'87 ann. meet.*, pp/1549(1987)
- 4) M.Washizu, T.Nanba and S.Masuda, "Handling of Biological Cells Using Fluid Intergrated Circuit", *Conf. Rec. IEEE/IAS'88 ann. meet.*, pp. 1735(1988)

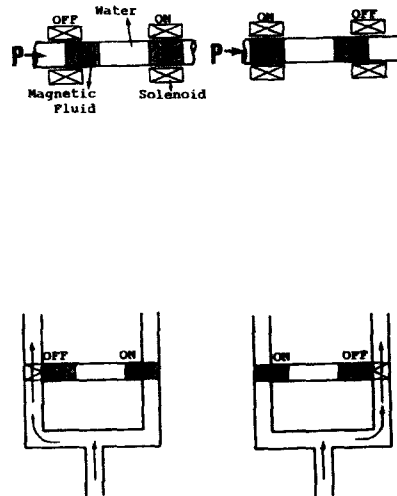
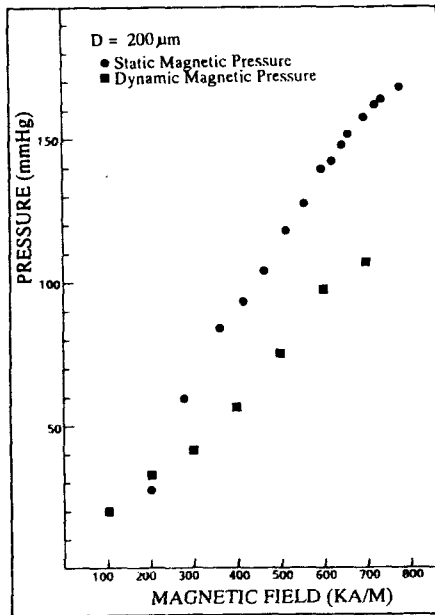


그림 10 자성유체의 움직임에 의한 발생압력

Fig. 10 Generated Pressure by the Movement of Magnetic Fluid

- 5) R.Kaneko, "Micro Tribology to MEMS", Proceeding 4th IEEE Workshop on Micro Electro Mechanical Systems, pp.1-8 (Jan 1991, Nara, Japan)
- 6) D.W.KIM et al, "A Basic Study of the Hydraulic Characteristics of Micro Mechanisms" Proceeding 7th ICBME, pp.283-285 (Dec 1992 Singapore)