

액추에이터에서의 자성유체 제어 및 유동 특성에 관한 연구

A Study on the Flow and Control Characteristics of Magneticfluid in Actuator

김 중**, 전 운 학*, 이 회 상**, 이 봉 규**, 황 승 식**, 오 창 복***
Joong Kim, Unhack Chun, Heesang Lee, Bonggyu Lee, Seungsik Hwang, Changbok Oh

ABSTRACT

The aim of the study is to provide fundamental informations for the development of magneticfluid actuator. To achieve the aim, the force and dynamic characteristics of magneticfluid are investigated by experiment for the various of tube diameter, height and position of magneticfluid column in magneticfield according to supplied voltage of solenoid coil, wave form and frequency.

From this study, actuating force of magneticfluid is generated by magneticfield. The magnitude of force increases as the intensity of magneticfield becomes strong and the center of magneticfield becomes lower than the center of magneticfluid column. And the force of magneticfluid relates to the volume of magneticfluid more than the height and diameter. The response delay time decreases as the height of magneticfluid column becomes longer and the center of magneticfield becomes lower than the center of magneticfluid column. But, the approaching time increases as supplied voltage becomes higher and the center of magneticfield becomes higher than the center of magneticfluid column. The frequency generating maximum force is 1Hz and the critical frequency is about 4Hz

주요기술용어 : Magneticfluid (자성유체), Response delay time (응답 지연 시간),
Critical frequency (임계 주파수)

1. 서 론

최근 관심이 증가되고 있는 자성유체는 외관상

액체 자신이 자성을 갖는 것처럼 거동하며¹⁾, 유체의 고유 특성인 유동성과 고체의 고유 특성인 자성을 공유한다. 자성유체의 이러한 특성으로 인해 자성유체를 액추에이터에 이용하려는 연구가 진행되어 왔다. 자성유체를 이용한 액추에이

* 정회원, 국민대학교 기계공학과

** 정회원, 국민대학교 기계공학과 대학원

*** 국민대학교 기계공학과 대학원

터는 자장에 의한 계면 형상 변형운동 특성 또는 관내 비정상유동 특성을 제어하거나 자성유체를 구동에 이용할 수 있으므로 액추에이터로서 활용 가능성이 크다.²⁾

자성유체를 액추에이터에 사용할 경우 큰 에너지의 전달이 어렵다는 단점을 가지고 있지만, 기존의 액추에이터에 비하여 다음과 같은 장점을 가지고 있다.

구동부가 유체로 구성되어 있어 기존의 피스톤을 사용한 액추에이터의 단점인 고체 접촉에 의한 큰 마찰 저항이나 마멸의 염려가 없고, 피스톤과 실린더 사이의 누설이 거의 없는 실링 역할을 할 수 있다. 또한, 외부로부터 전자기적으로 비접촉하에서 물체의 미소 변위 또는 미소 운동을 쉽게 조절할 수 있고, 자성유체는 계면 형상을 자유로이 변형할 수 있으며, 별도의 동력 공급장치와 동력 제어부가 필요 없으므로 동력부를 간단하게 구성할 수 있다.

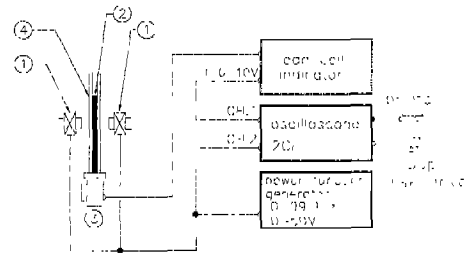
이러한 장점으로 인해 자성유체를 액추에이터에 사용할 경우 장치의 소형화 등을 이룰 수 있으므로 그 개발에 대한 기대는 크다.

자성유체를 액추에이터에 사용하기 위해서는 자성유체의 제어 성능을 비롯하여 제어 방법과 액추에이터로서의 기본 출력 특성에 대한 연구가 선행되어야 한다. 자성유체 액추에이터와 관련된 현재까지의 연구는 그 운동 범위 및 최적의 액주 높이, 최대진폭과 주파수 등에 대한 실험이 주된 내용이었다.^{3,4)} 또한, 실험 방법으로도 특정관을 사용하거나⁵⁾ 정해진 입력 조건 및 자성유체의 선백⁴⁾ 등 제한된 조건에서 연구와 실험이 수행되어 왔다. 실제의 자성유체 액추에이터를 만들고자 할 때 기초 자료로서 자성유체 운동시 발생하는 힘, 운동 변위 및 운동 속도에 대한 자료가 제공되어야 하지만, 변위와 속도에 대한 연구에 비하여 힘에 대한 연구는 미비한 상태이다. 그러므로, 자성유체를 액추에이터에 사용하기 위해서는 이러한 기본 특성에 대하여 더욱 명확한 자료를 얻는 것이 필요하며, 이로 인하여 실용화를 한층 앞당길 수 있다.

그러므로, 본 연구는 기존의 변위 특성에 대한 연구를 바탕으로 하여 피구동유체를 따로 사용하지 않고 자성유체만을 수직 직선관에 주입하여 다양한 입력 조건에 따라 자장에 의한 자성유체의 운동시 발생하는 힘에 대한 제어 특성과 유동 성능을 고찰하고자 한다

2. 실험

Fig. 1은 본 실험에 사용된 실험 장치의 개략도를 나타낸다.



- ① solenoid
- ② magnetic fluid
- ③ load cell
- ④ straight tube

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

기초 실험으로 실험장치에 사용된 솔레노이드에서 형성시킬 수 있는 자장의 세기를 측정한다. 측정방법은 솔레노이드에 전압을 일정하게 공급한 상태에서 양쪽 솔레노이드의 중심으로부터 가우스 미터를 5mm씩 상하로 이동하면서 자장의 세기를 측정하는 방법을 채택하였다. 이때 합수발전기로부터 공급되는 전압은 20V부터 10V씩 증가시켜 40V까지 3단계의 전압에 대하여 측정하였다.

Fig. 2는 가우스 미터를 사용하여 측정된 자장의 세기를 나타낸 것이다. 측정결과에 의하면 공급전압 40V이고, 자장의 중심에서 가장 큰 자장의 세기가 0.025T로 측정되었으며, 자장의 중심으로부터 상하방향으로 45mm를 넘어가면 자장의 영향이 없는 것으로 측정되었다.

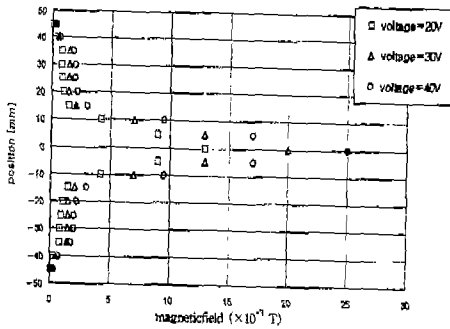


Fig. 2 Intensity of magneticfield

본 실험은 시험관의 상단부는 개방하고, 하단부에 로드셀을 설치하여 자장의 인가에 의한 자성유체가 발생하는 힘을 측정하였으며, 로드셀에서 나오는 출력 신호가 μmV 로 매우 작기 때문에 인디케이터를 설치하여 10V까지 증폭한다.

이때 자성유체의 높이, 지름, 자장 중심의 위치 및 입력 신호의 형태를 변화시켜 실험하였다.

자성유체의 높이와 지름은 자성유체 액추에이터의 변위에 대한 연구에서 자장의 세기가 약 0.03T일 경우 자성유체 액주가 수직관내에서 유지될 수 있는 60mm, 70mm 및 80mm의 자성유체 높이, 자성유체의 지름을 5mm, 7mm 및 9mm로 결정하였다. 이는 기존의 변위에 대한 연구^{2,3)}와 비교하기 위해서이다.

자장 중심의 위치 변화는 자성유체 높이의 중심과 자장의 중심이 일치할 때 z_0 으로, 자성유체 높이의 중심에서 10mm 윗 부분에 자장의 중심을 일치시키면 z_{+10} 으로, 자성유체 높이의 중심에서 10mm 아래 부분에 자장의 중심을 일치시키면 z_{-10} 으로 정의한다. 이때 z_0 , z_{+10} 및 z_{-10} 에 대해 각각 입력 신호의 형태 변화에 따라 자장에 의한 자성유체가 발생하는 힘을 측정한다.

입력 신호는 함수 발생장치를 이용하여 최대 공급 전압의 파형과 주파수를 가변 공급하며, 입력 신호의 기록은 오실로스코프를 사용하여 플로피 디스켓에 저장한다. 공급 전압의 범위는 20V, 30V 및 40V로 단계적으로 가변하며, 공급 주파

수는 1Hz, 3Hz 및 5Hz를 사용하였다. 또한, 공급 전압의 파형은 정현파와 방형파를 공급하였다.

자성유체의 높이와 지름에 따라 다음과 같은 순서로 실험하였다. 로드셀과 시험관을 체결한 후, 자성유체를 시험관에 주입한다. 자성유체가 시험관벽에 붙는 것을 방지하고 시험할 자성유체의 정확한 양을 임의로 조절하기 위해 스포이드를 사용하여 시험관내에 주입하고, 로드셀을 상하로 조절하면서 자성유체의 중심에 자장의 중심을 맞춘다.

먼저 정현파의 피크값과 자성유체의 출력 특성을 더욱 정확하게 비교하고, 자성유체의 동적 응답 특성을 규명하기 위하여 함수 발생기로부터 비교적 주기가 긴 0.1Hz의 방형파를 최대 공급 전압 20, 30 및 40V로 주어 인디케이터에서 증폭된 로드셀의 신호와 함수 발생기에서 나온 신호를 동시에 오실로스코프로 받아 필터링하여 저장한다.

함수 발생기로 공급 전압의 파형을 정현파로 변화시키고 자장 중심의 위치, 최대 공급 전압 및 주파수의 형태를 변화시킨다. 공급 전압은 20V, 30V 및 40V의 3단계로 공급하였다. 각각의 공급 전압에 대하여 공급 주파수를 1Hz, 3Hz 및 5Hz로 단계적으로 가변하면서 측정하였다.

본 실험에 사용한 실험 장치는 Table 1과 같다. 액추에이터에 자성유체를 사용할 때 적합한 자성유체로는 자장의 제어가 용이하고, 포화 자화가 높아서 유체 자체의 성능 저하가 없어야 하며, 인화성이 낮을 뿐만 아니라 저가이어야 한다. 본 실험에서 사용한 자성유체는 초미립자를 마그네타이트로 하고, 등유를 베이스 유체로 하며, 계면활성제로 올레인산을 사용한 일본 東北工業株式會社(株) 탄화수소류의 HC-50을 사용하였다. 그 물성치는 Table 2와 같다.

3. 실험 결과 및 고찰

Table 1 Specification of experimental equipments

instrument	specification	
power function generator	model	manufactures, 德殊電子産業 Korea
	output voltage	0~50V
	output current	0~10A
	frequency	0~99.91Hz
Gauss meter	model	3090, Kotronix Korea
	range	0.03~30kGs
load cell	model	BC5, CAS Korea
	combined error	0.03% R.O.
indicator	model	CI-6000A, CAS Korea
	voltage acting on load cell	DC 10V, 300mA
	A/D resolving power	1/200,000
	A/D converting velocity	50times/sec
	input noise	fewer than $\pm 0.3 \mu V_{pp}$
	input Impedance	more than 10M Ω
oscilloscope	model	9350AL, LeCroy U.S.A
	frequency band width	500MHz
	max. sampling	4GS/s, 4Mpt
	memory	8Mwords
	storage mode	floppy diskette

솔레노이드에서 발생하는 자장에 의해서 자성 미립자는 z축 양의 방향으로 이동하게 되므로, 자장이 발생되면 자성유체에서 발생하는 힘은 로드셀로부터 측정된 시험부의 중량보다 낮아진다.

따라서, 실험 결과에서 나타낸 힘은 자장에 의해 자성유체에서 발생한 힘만을 나타내기 위해서 자성유체를 포함한 시험부의 초기 하중에서 측정된 하중을 뺀 값으로 나타낸다.

Table 2 Physical properties of HC-50

	specification
color	black and brown
specific gravity (25℃)	1.39±0.02
dynamic viscosity (Pa · s, 25℃)	0.0025
surface tension (N/m, 25℃)	0.027
saturated magnetization ($\times 10^{-3}$ T)	47.5±3.0
boiling point (℃, 760mmHg)	150~250
flashing point (℃)	30~60
allowable temperature (℃)	-20~120
solute (wt%)	magnetite (43.0)
base-liquid (wt%)	kerosene (45.3)
surfactant (wt%)	oleic acid (11.7)

3.1 방형파 공급에 따른 출력 특성

자성유체 액주의 지름이 5mm일 경우를 기준으로 Fig. 3은 최대 공급 전압, 자장 중심의 위치 및 자성유체 액주의 높이 변화에 따라 자성유체가 발생하는 힘을 나타낸 것이고, Fig. 4는 자장의 중심 위치가 z_{-10} 의 위치에 있을 때 전압과 자성유체 액주의 높이의 변화에 따라 자성유체에 발생하는 힘을 나타낸 것이며, Fig. 5는 공급 전압이 40V로 일정할 때 자장 중심의 위치가 z_{+10} 에서 z_0 및 z_{-10} 으로 변화함에 따라 자성유체가 발생하는 힘을 나타낸 것이다.

이를 통하여 자성유체의 높이와 자장 중심의 위치에 상관없이 최대 공급 전압이 증가할수록 인가되는 자장의 세기가 커짐으로써 자성유체가 발생하는 힘은 커지며, 자성유체의 높이와 최대 공급 전압의 크기에 상관없이 자장 중심의 위치가 z_{+10} 에서 z_0 및 z_{-10} 으로 변화함에 따라 자성유체가 발생하는 힘이 커진다는 것을 알 수 있다.

기존 연구 자료^{3,4)}에서 자성유체 액주와 높이가 일정하고 공급되는 주파수가 일정할 때, 같은 단면적하에서 대한 자장 중심의 위치가 낮아짐에 따라 진폭이 커지므로 힘이 커질 것이라는 예상

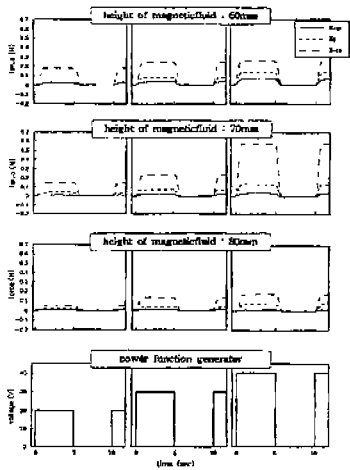


Fig. 3 Result of square wave input
과 같았다.

Fig. 4와 Fig. 5에 나타난 바와 같이 자성유체 액주의 높이가 80mm일 때 출력인 자성유체의 힘이 다른 경우에 비해 적게 나타나는 것은 본 논문의 실험장치에 사용한 슬래노이드에 실험 조건에 의거한 전압을 인가하였을 때 자장이 형성되는 최대의 높이가 자장의 중심으로부터 45mm이기 때문인 것으로 사료된다.

Fig. 6은 자성유체 액주의 지름이 5mm일 때, 자성유체 액주 높이와 자장 중심 위치의 변화에 따라 자성유체가 자장에 반응하는 응답 지연 시간을 나타낸다.

자장 중심의 위치와 액주의 높이가 각각에 대하여 공급 전압이 30V일 때 최대 응답 지연 시간을 가지며, 자성유체 액주의 높이가 60mm 및 70mm에서 40V의 경우, 높이가 80mm에서 20V의 경우에 최소 응답 시간을 가진다. 자성유체 액주의 높이가 60mm나 70mm에 비하여 80mm일 때 응답지연 시간이 0.01~0.11sec로 가장 작은 값을 나타낸다. 자장 중심의 위치 각각에 대하여 높이가 커짐에 따라 응답 지연 시간이 작아진다.

Fig. 7은 자성유체 액주의 지름이 5mm일 때, 방형과형의 공급 전압이 정해진 최대 값으로 인가되었을 경우 자성유체에서 발생하는 힘이 0에서부터 최대 값까지 도달하는데 걸리는 시간을 나타내며, 이는 자성유체 액주 높이 및 자장 중심 위치의 변화에 따라 측정된 것이다. 최대 공급 전

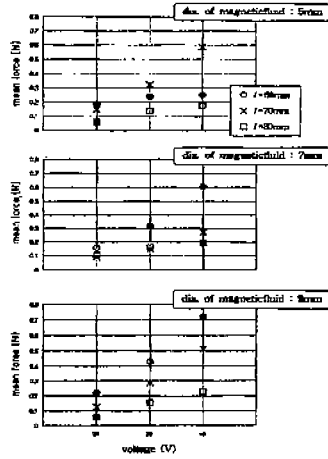


Fig. 4 Mean force according to voltage

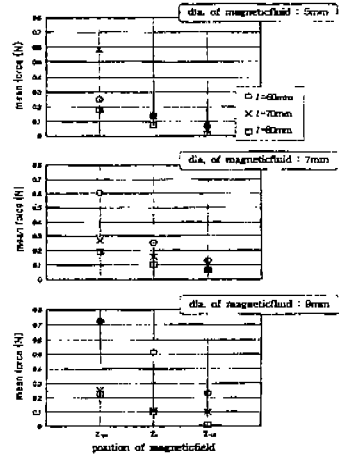


Fig. 5 Mean force according to position of magnetic field

압이 감소할수록 힘의 최대 값까지 도달하는 시간이 빨라지며, 이는 자성유체 입자가 충분히 자화되기 위하여 시간이 필요하다는 것으로 사료된다.

응답 지연 시간은 전체적으로 z_{+10} 에서 가장 느리고, z_{-10} 에서 가장 빠른 반면, 힘의 최대 값까지 도달하는 시간은 z_{-10} 에서 가장 느리고, z_{+10} 에서 가장 빠르게 된다. 응답 지연 시간과 최고힘에의 도달 시간은 자장 중심의 위치에 따라 서로 역전되는 것을 알 수 있다. 자성유체 액추에이터의 실제 사용에 있어서 응답시간과 목표 도달 시간의 감소를 위하여는 미분제어(derivative control)를 필수적으로 사용하여야 한다고 사료된다.

3.2 정현파 공급에 따른 출력 특성

Fig. 8은 최대 공급 전압이 40V, 주파수가 1Hz인 정현파를 공급신호로 입력하였을 때, 자성유체 액주의 지름이 5mm일 경우 자성유체 액주의 높이에 따른 출력을 나타낸 것으로 자성유체에서 발생한 힘의 최대값인 피크값과 출력의 형태를 비교한 것이다.

방형과형의 경우와 같이 자장 중심의 위치가 z_{+10} 일 때, 자장에 의해서 발생하는 자성유체의 힘은 커진다.

자성유체 액주의 높이가 60mm와 80mm일 때 자장 중심의 위치 z_{+10} 에서 정현파형을 따르지

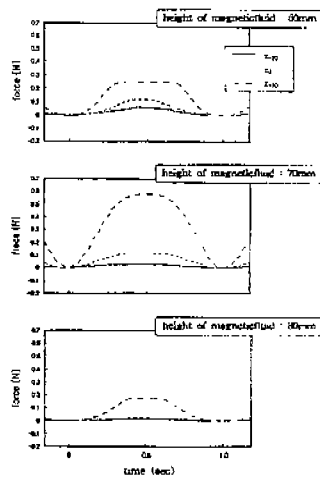
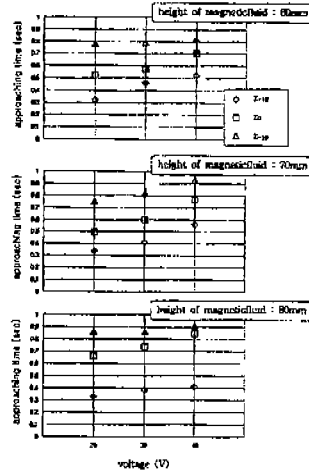
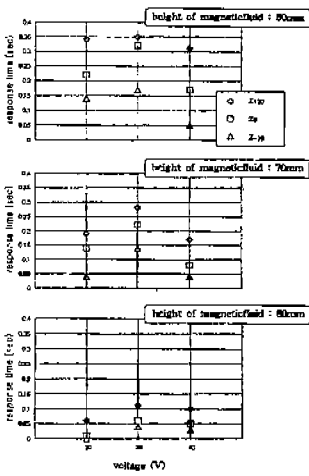


Fig. 6 Response time according to voltage Fig. 7 Approaching time according to voltage Fig. 8 Results of sine wave input

못하고 힘이 일정하게 나타나는 부분이 있다.

액주의 높이 60mm인 경우는 공급되는 전압에 따른 자장의 세기가 실험에 사용한 자성유체의 체적 즉, 자성입자의 양에 대해 너무 큰 자장이 발생함으로써 자장이 과잉 공급된 경우이다. 액주의 높이 80mm인 경우는 60mm인 경우와 반대로 자성유체의 체적이 인가된 전압으로 발생된 자장의 세기가 충분하지 않고, 또한 자성유체 액주의 높이가 형성된 자장의 범위를 넘어 액주 양단에는 자장의 세기가 아주 적게 영향을 미치기 때문이다. 자성유체 액주 높이의 변화에 따른 자성유체의 힘은 자장 중심의 위치와 관계없이 액주의 높이가 70mm일 때 최대 힘이 가장 큰 값을 가지며, 액주의 높이가 80mm일 때 힘의 최대값이 가장 작은 값을 가진다. 이것은 자장의 범위가 액주의 높이를 초과하는 경우보다 자장의 과잉 공급인 경우가 더 큰 힘을 발생시킨다는 것을 알 수 있다.

자성유체 액주의 높이 80mm를 제외한 경우 자성유체 액주의 높이가 증가함에 따라 자성유체의 출력인 힘은 증가한다. 이러한 경향에 따라 액주의 높이 80mm 이전에서 한계값에 도달할 것이다.

Fig. 9는 최대 공급 전압이 40V이고, 자성유

체 액주의 지름을 5mm로 고정된 경우 공급 전압의 주파수, 자성유체 액주의 높이 및 자장 중심의 위치에 따라 자성유체가 발생하는 힘에 대하여 나타낸 것이다. 자성유체 액주의 높이와 자장 중심의 위치에 상관없이 공급 전압 주파수의 증가에 따라 자성유체가 발생하는 힘은 감소한다. 이는 주파수가 증가하여 입력 신호의 변화가 빨라지면 출력 신호가 입력 신호에 정확하게 따르지 못하기 때문이다. z_{10} 에서 자성유체 액주의 높이가 70mm인 경우 주파수가 1Hz에서 출력은 0.59N이고, 주파수 3Hz에서 출력은 0.47N, 주파수 5Hz에서 출력은 0.32N이다.

자성유체 액주의 높이가 70mm이고 자장 중심의 위치가 z_{10} 인 경우 주파수 1Hz에서 출력은 정현파의 정상곡선에 가까우므로 출력비율 1dB로 하여 한계 주파수인 3dB일 때의 출력 값을 계산하면 0.42N이 된다. 이로부터 자장 중심의 위치 z_{10} 에서 자성유체 액주의 높이가 70mm인 경우에서 0.42N에 해당하는 한계 주파수를 찾으면 4Hz가 약간 넘는다.

Fig 10은 공급 전압의 주파수가 1Hz이고 자성유체 액주의 지름이 7mm이며 자장 중심의 위치가 z_{-10} 일 경우 최대 공급 전압에 대한 출력을 자성유체 액주의 높이에 따라 자성유체가 발생하

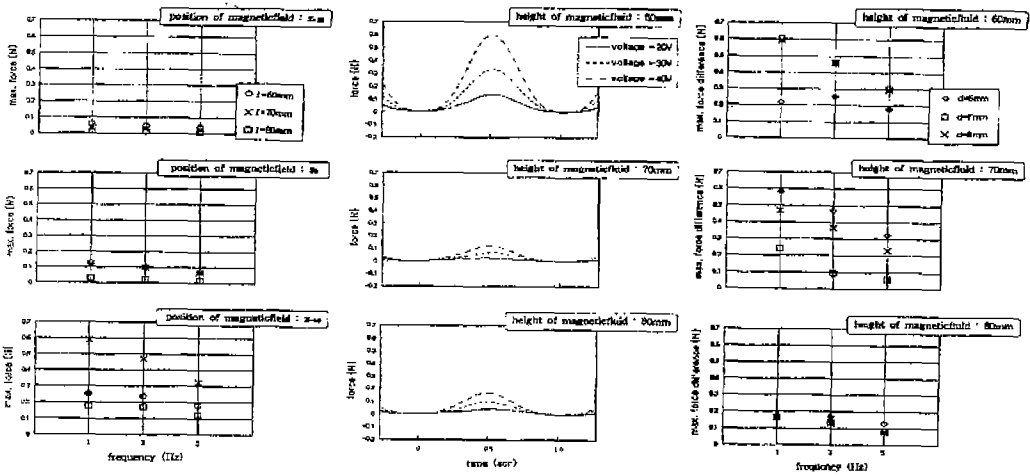


Fig. 9 Max. force according to frequency Fig. 10 Max. force according to voltage Fig. 11 Max. force difference according to frequency

는 힘의 변화를 나타낸 것이다. 방형과형의 경우와 같이 자성유체 액주의 높이에 상관없이 최대 공급 전압이 증가함에 따라 자성유체 중의 미립자가 자화의 세기가 증가함으로써 자성유체가 발생하는 힘이 증가한다. 최대 공급 전압 각각에 대하여 자성유체 액주의 높이가 70mm일 때 가장 작은 힘을 나타내고, 60mm일 때 가장 큰 힘을 나타낸다.

Fig. 11은 최대 공급 전압이 40V이고 자장 중심의 위치가 z_{10} 으로 고정되어 있을 때 자성유체 액주 높이와 지름 및 공급 전압의 주파수에 대하여 자성유체가 발생하는 힘의 최대 값과 최소 값의 차이를 나타낸다.

자성유체 액주의 높이가 60mm일 때 지름이 변할 경우 최대 공급 전압과 주파수에 따른 힘의 차이는 최대 공급 전압과 주파수 각각에 대하여 액주의 지름이 5mm일 경우 가장 작은 값을 나타내며, 이것은 다른 지름의 액주에 비해 유체에 힘을 전달하는 미립자의 수가 적기 때문이다. 액주의 지름이 7mm와 9mm일 때 공급 전압 주파수가 증가함에 따라 자성유체의 응답성이 떨어지므로 자장에 의해서 발생하는 힘은 감소한다.

자성유체 액주의 높이가 70mm일 때 지름이 변할 경우 공급 주파수에 따른 힘의 차이는 공급

주파수 각각에 대하여 액주의 지름이 7mm일 경우 가장 작은 값을 나타내며, 5mm일 때 가장 큰 값을 나타낸다. 자성유체 액주의 지름이 7mm인 경우는 최대 공급 전압이 40V일 때 자성유체에 자장이 인가되면 미립자들이 자화되므로 응집하는 현상이 발생하여 점도가 커지기 때문으로 생각된다. 액주의 지름에 상관없이 공급 전압 주파수가 1Hz, 3Hz 및 5Hz로 증가함에 따라 자장에 의해서 발생하는 힘은 감소한다. 이는 주파수가 증가함으로써 자성유체의 응답성이 떨어지기 때문이다.

자성유체 액주의 높이가 80mm일 때 지름이 변할 경우 공급 전압 주파수에 따른 힘의 차이는 자성유체 액주의 높이가 70mm의 경우와 비슷하지만 자성유체가 발생한 값의 차이가 0.05N으로 자성유체 액주의 높이가 60mm와 70mm의 경우에 비하여 매우 작다.

Fig. 12는 정현과형의 공급 전압 주파수가 1Hz, 자장 중심 위치를 z_{10} 으로 고정하고 자성유체 액주 높이와 지름 및 최대 공급 전압에 대하여 자성유체가 발생하는 힘의 최대 값과 최소 값의 차이를 나타낸다.

자성유체 액주의 높이가 60mm일 때 지름이 변할 경우 최대 공급 전압의 변화에 따른 힘의

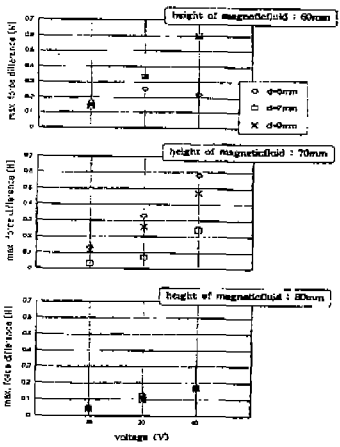


Fig. 12 Max. force difference according to voltage

차이는 최대 공급 전압이 20V일 때, 자성유체 액주의 지름이 5mm의 경우 값의 차이는 0.17N으로 가장 큰 값을 나타내며, 액주의 지름이 7mm일 경우 0.14N으로 가장 작은 값을 나타낸다. 최대 공급 전압이 30V 및 40V로 증가할 때, 자성유체 액주의 지름이 7mm와 9mm는 비슷한 값의 차이를 나타낸다.

자성유체 액주의 높이가 70mm일 때 지름이 변할 경우 최대 공급 전압에 따른 힘의 차이는 최대 공급 전압 각각에 대하여 액주의 지름이 7mm인 경우 가장 작은 값을 나타내며, 5mm일 때 가장 큰 값을 나타낸다. 또한, 자성유체 액주의 높이 각각에 대하여 최대 공급 전압의 변화에 따른 힘의 변화는 액주의 지름에 상관없이 최대 공급 전압이 증가함에 따라 자장에 의해서 발생하는 힘은 증가한다.

자성유체 액주의 높이가 80mm일 때 지름이 변할 경우 최대 공급 전압에 따른 힘의 차이는 자성유체 액주의 높이가 70mm의 경우와 비슷하지만 자성유체가 발생한 진폭의 최대 차이가 0.03N으로 자성유체 액주의 높이가 60mm와 70mm의 경우에 비하여 매우 작다.

Fig. 13은 정현파형의 최대 공급 전압을

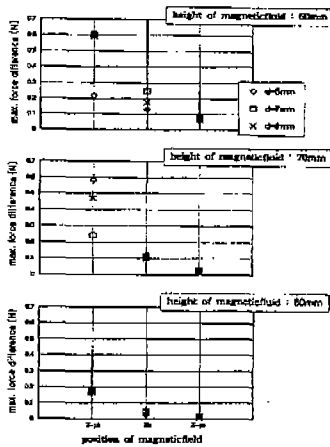


Fig. 13 Max. force difference according to distance from magnetic fluid

Table 3 Dimention of magneticfluid using in this paper

case	height (mm)	diameter (mm)	volume (cm)
1	60	5	1.18
2	70	5	1.37
3	80	5	1.57
4	60	7	2.31
5	70	7	2.69
6	80	7	3.08
7	60	9	3.82
8	70	9	4.45
9	80	9	5.09

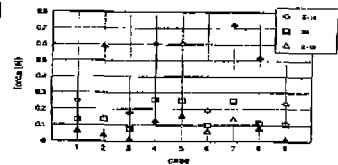


Fig. 14 Force according to volume of magneticfluid

40V, 주파수를 1Hz로 하여 자성유체 액주 높이와 지름 및 자장 중심의 위치에 대하여 자성유체가 발생한 힘의 최대 값과 최소 값의 차이를 나타낸다.

자성유체 액주의 높이가 60mm일 때, 자장 중심의 위치가 z_{-10} 에서 z_0 으로 변화함에 따라 자성유체 액주의 지름이 7mm일 때 가장 큰 값을 나타내며, 지름이 5mm일 때 가장 작은 값을 나타낸다. 지름이 5mm인 경우는 다른 지름의 액주에 비해 유체에 힘을 전달하는 미립자의 수가 적기 때문이다.

자성유체 액주의 높이가 70mm일 때 액주의 지름이 변할 경우 자장 중심의 위치 변화에 따른 힘의 차이를 나타낸다. 자장 중심의 위치 각각에 대하여 액주의 지름이 7mm일 경우 가장 작은 값을 나타내며, 5mm일 때 가장 큰 값을 나타낸다.

자성유체 액주의 높이가 80mm일 때 지름이 변할 경우 자장 중심의 위치의 변화에 따른 힘의 차이는 자성유체 액주의 높이가 70mm의 경우와 비슷하지만 자성유체가 발생한 진폭의 최대 차이가 0.005N으로 자성유체 액주의 높이가 60mm와 70mm의 경우에 비하여 매우 작다.

3.3 자성유체의 체적에 따른 출력

특성

Fig. 14는 입력 신호로 방형과의 40V를 공급하였을 때 자장 중심의 위치에 따른 최대 출력의 힘을 실험에 사용한 자성유체의 체적에 따라 나타낸 것이다.

실험에 사용한 자성유체 체적은 Table 3과 같이 가장 작은 것이 지름 5mm, 자성유체 액주의 높이 60mm이고, 가장 큰 것은 지름 9mm, 자성유체 액주의 높이 80mm이다.

Fig. 14에서 입력 신호에 대한 출력인 자성유체에 발생한 힘이 한계 주파수에 따른 한계 출력값 0.43N 이하로 작은 것은 1.18cm³인 지름 6mm, 자성유체 액주의 높이 60mm와 자성유체 액주의 높이 80mm인 것이다. 지름 6mm, 자성유체 액주의 높이 60mm인 것은 자성유체의 체적이 1.18cm³로 입력 신호로 공급한 전압에 의한 자장의 세기에 대하여 자성유체의 체적이 너무 작기 때문이다. 즉, 자성유체내의 미립자의 양이 작아 충분히 자화될 수 있지만, 자화된 미립자의 양이 작기 때문에 자성유체에 발생된 힘이 작은 것으로 생각된다. 자성유체 액주의 높이가 80mm 일 때 자성유체에 발생된 힘이 작은 것은 자성유체내에 미립자의 양은 충분히 많으나 이 미립자를 자화시킬 수 있는 자장의 세기가 너무 작기 때문이며, 자장이 형성되는 범위에 대하여 자성유체 액주의 높이가 너무 길기 때문이다. 자성유체에 발생된 힘이 0.43N 이상인 것은 자성유체의 높이와 지름이 70mm와 9mm, 70mm와 5mm, 60mm와 7mm, 60mm와 9mm의 순서이다. 이것으로부터 형성된 자장에 대하여 자성유체가 발생하는 힘은 자성유체 액주의 높이와 지름보다는 전체 체적과 관련된 것으로 생각된다.

4. 결 론

본 연구는 자성유체를 이용한 액추에이터의 기

본 특성에 대한 연구로서 수직관에서 자장을 인가하여 자성유체 액주의 힘에 대한 특성과 동적 성능을 알아보기 위하여 실험적으로 고찰하였다. 결과를 고찰하여 정리하면 다음과 같다.

(1) 입력전압의 크기가 증가함에 따라 자장의 세기가 증가하면 자성유체 액주에서 발생하는 힘은 커지지만 자성유체의 체적에 따라 한계점을 가진다.

(2) 자장 중심의 위치가 자성유체 액주의 중심보다 10mm 위쪽에서 0mm 및 10mm 아래쪽으로 변화함에 따라 자장에 의해서 발생하는 자성유체의 힘은 증가한다. 그러나, 자성유체 액주의 체적 및 높이에 대하여 체적이 너무 작거나, 자성유체 액주의 높이가 너무 길면 변형과형의 출력을 따르지 못하는 경우가 발생한다.

(3) 자성유체 액주 높이가 60mm, 70mm 및 80mm로 증가함에 따라 자성유체에 발생하는 힘은 80mm에서 가장 작은 값을 나타낸다. 이것은 액주의 높이가 80mm 이전에서 한계값에 도달할 것을 예상할 수 있다.

(4) 응답 지연 시간은 자장 중심의 위치가 자성유체 액주의 중심보다 10mm 위쪽에서 0mm 및 10mm 아래쪽으로 변화시킴에 따라 빨라지고, 자장 중심의 위치가 자성유체 액주의 중심보다 아래쪽 10mm로 고정하고 자성유체 액주의 높이를 증가시킴에 따라 빨라진다.

(5) 입력 신호에 대하여 자성유체에서 발생하는 힘이 최대가 될 때까지 걸리는 시간은 공급 전압이 작아짐에 따라 빨라지고, 공급 전압을 고정하여 자장 중심의 위치가 자성유체 액주의 중심보다 10mm 아래쪽에서 0mm 및 10mm 위쪽으로 변화시킴에 따라 빨라진다.

(6) 변위 특성에 대한 기존의 연구에서 비슷한 자성유체 액주의 높이와 지름을 사용하고, 비슷한 자장의 세기를 사용한 경우, 최대 진폭을 발생하는 주파수 영역은 3Hz~7Hz로 나타났지만, 본 실험에서 나타난 최대 힘이 발생하는 주파수는 주기가 느린 1Hz로 측정되었으며, 한계주파수는 4Hz 정도이다.

참 고 문 헌

1. 坂東尙周, 超微粒子の特性と適用,
工業材料(日本), 30(1), 45-57, 1982.
2. S. Kamiyama, A magneticfluid actuator,
Advanced Robotics, Vol. 1, No. 2, 1986.
3. 神山, 渡辺, 佐藤, 磁性流體を利用したア
クチュエータの基本特性, 日本機械學會
論文集, Vol. 57, No. 537, 1991.
4. 李 行男, 全 雲鶴, 曲管内 磁性流體
PLUG의 振動特性, 韓國 自動車工學會
論文集, Vol. 3, No. 3, 1995.
5. S. Kamiyama, K. Koike and T. Oyama,
Pipe Flow Resistance of Magneticfluids in
a Nonuniform Transverse Magnetic Field, J.
Mag. Mag. Mat., Vol. 39, No. 1-2, 1983.