

하지 재활운동치료 기구에 적용하기 위한 소형 MR 유체 브레이크에 관한 연구

박우철^{1*}, 이현창¹, 김일겸²

¹강원대학교 자동차공학과, ²첨단기공(주) 부설연구소

Study on the Compact MR fluid Brake for the Training and Sporting Equipment for Leg Rehabilitation

Woo-Cheul Park^{1*}, Hyun-Chang Lee¹ and Il-Gyoun Kim²

¹Dept. of Vehicle Eng. Kangwon National University

²ChomDan Mechanical Co. Ltd., R&D Center

요 약 본 연구에서는 MR유체를 특징으로 하는 하지 재활운동 기구를 제안하고, 재활운동 기구에 적용하기 위한 소형 MR 유체 브레이크를 설계, 제작하여 성능을 평가하였다. MR유체 브레이크의 저항 특성은 MR유체에 부하되는 자기장의 변화에 의해 제어된다. 공간 제한을 고려하여 자기장 세기와 관련된 설계변수는 유한요소 프로그램인 ANSYS Workbench를 사용하여 최대 토오크가 발생할 수 있도록 결정하였다. 제안된 MR유체 브레이크를 제작하고, 자기장에 따른 토오크의 변화를 실험적으로 평가하였다. 전류를 공급하면, MR 유체 브레이크의 토오크는 증가하였으며, 그 반응은 매우 빠르게 나타났다. 공급하는 전류의 세기가 증가함에 따라 MR 유체 브레이크의 토오크는 MR유체의 빙행 특성과 유사하게 증가하여 나타났다.

Abstract In this study, the training and sporting equipment for leg rehabilitation featuring the MR fluids is proposed. The compact MR fluid brake is designed and manufactured to apply to the rehabilitation training and sporting mechanism. The resistance characteristic of the MR fluid brake is controllable by varying the magnetic field around the fluid. Under consideration of spatial limitation, design parameters which are related with the magnetic strength are determined to maximize to a torque using finite element method. The FE analysis is performed using a commercial code, ANSYS Workbench. The proposed brake device is manufactured, and its field-dependant torque is experimentally evaluated. When the electric current is supplied, the torque of the MR fluid brake is increased and the response is very fast. Depending on the strength of the current supply, torques of the MR fluid brake also increase similar to Bingham property of MR fluid.

Key Words : Magneto-rheological Fluid, magnetic field, Torque, yield stress, Rehabilitation, Leg, Bingham property

1. 서론

지속되는 저출산과 의학발달로 인해 한국은 지금 급속한 속도로 고령화 사회에 진입 중이며, 한국은 OECD 국가들 중 가장 높은 노인인구증가율을 보이는데, 2030년에는 24.3%, 2050년에 이르러서는 전체 인구의 37.3%를 차지할 것으로 예상된다. 고령화가 되어 감에 따라 의료

복지 수준 또한 계속하여 상승하고 있으며, 이러한 경향에 힘입어 관련 의료기기나 장비 관련 연구와 개발 또한 활발히 이루어지고 있다. 노인의 하지 근력은 노화 현상으로 인하여 연령이 증가할수록 점점 약화되어진다. 따라서 근력 약화에 따른 노인의 하지를 보호할 수 있는 하지 재활운동치료 시스템의 필요성이 증가되고 있는 실정이며, 노인의 일상생활을 가능하게 하는 노인의 하지 근력

*Corresponding Author : Woo-Cheul Park

Tel: +82-10-3999-0594 email: wchpark@kangwon.ac.kr

접수일 12년 02월 13일

수정일 (1차 12년 04월 23일, 2차 12년 06월 20일)

게재확정일 12년 07월 12일

에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다[1-3].

또한, 삶의 질 향상과 빠른 이동을 요구하는 현대 사회의 요구에 부응하기 위하여 많은 수와 많은 종류의 운동 기계들이 있으며, 부주의한 운전으로 인한 사고 또한 많이 발생하고 있다. 사고 후유증으로 인한 인체의 마비 증상이나 운동력 회복을 위한 재활운동 치료 시스템의 대한 요구가 증가하고 있다.

MR유체는 자기장에 의해 걸보기 점도가 변화하는 특성을 가진 유체이다. MR유체의 장점들을 이용하여 많은 분야에서 적용하고자 하는 연구를 진행하고 있다[4-8]. 최근에는 MR 유체의 제어 용이성을 이용하여 운동기구에 적용하고자 하는 연구가 진행되고 있으나, 대부분 고정 구조물을 이용한 헬스 운동 기구에 초점이 맞추어져 있다. 이러한 장비는 고정 구조물의 크기 때문에 넓은 공간이 필요하며, 공간적 제한이 있다[9]. 노인이나 관절염 환자, 교통사고 후유증을 앓고 있는 사람들과 같이 이동이 불편한 사람들이 병원이나 치료소가 아닌 가정에서도 혼자 간편하게 사용할 수 있고, 운동의 강도를 자유롭게 제어할 수 있는 장비는 거의 전무하다.

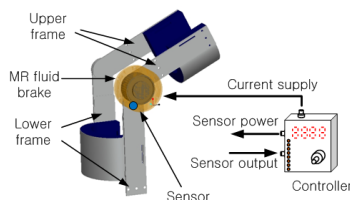
본 연구에서는 MR유체를 이용한 하지 재활치료 및 운동기구를 제안하고, 제안된 재활운동기구에 적용할 수 있는 소형의 MR 브레이크를 설계 제작하여 성능을 평가하고자 한다.

2. 관절운동 기구와 MR 유체 브레이크의 구조

2.1 관절운동 기구의 구조

재활치료는 빠른 회복을 도와주기 때문에 재활치료는 수술만큼이나 중요하다. 따라서 수술 후 빠른 시간 내에 정상 기능으로 회복하고 치료 효율성을 극대화하기 위해서는 적극적인 재활치료를 해야 한다[10].

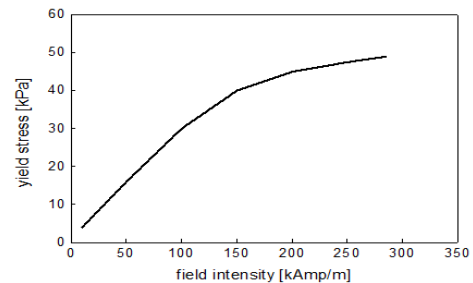
재활치료운동을 위하여 본 연구에서 제안한 하체 재활운동 기구는 그림 1과 같이 구성되어 있다.



[그림 1] 하지 재활운동 기구의 개략도
[Fig. 1] The schematic diagram of the rehabilitation training and sporting equipment for leg rehabilitation

관절 운동기구의 구성과 동작원리는 다음과 같다. 우선 상부와 하부 프레임은 운동기구를 환자가 운동을 하고자 하는 사람의 다리에 고정하기 위한 부품으로 상부 프레임은 허벅지에 장착되며, 하부 프레임은 무릎 아래 부위에 장착된다. 두 프레임은 힌지로 연결되어 있어, 근력 강화를 위하여 무릎 굽히거나 스쿼트(squat) 동작과 같이 관절 부위를 움직이면, 상부와 하부 프레임은 힌지 부위를 기준으로 회전운동을 하게 된다.

운동 효과를 위한 저항력을 발생시키기 위한 MR 브레이크는 상부 프레임과 하부 프레임의 연결부위에 위치한다. MR 브레이크는 상부 프레임과 함께 회전하는 내부 실린더와 MR유체를 밀봉하기 위한 하우징과 커버로 구성되어 있다. 외부로부터 공급된 전류의 작용으로 발생하는 자기장의 강도에 따른 MR유체의 항복응력을 이용하여 저항력을 발생시킨다. 부하하는 전류를 제어함으로써 운동 부하량을 사용자가 원하는 미소 단위로 조절할 수 있어 재활 및 부하 운동에 필요한 정도의 운동 부하량 설정이 가능하다. 재활뿐만 아니라 근력 강화 운동에도 효과를 볼 수 있다. 제어기의 표시기를 통하여 운동량과 운동 강도 등을 확인할 수 있으며, 제어기를 통하여 MR 브레이크에 공급하는 전류의 세기를 조절할 수 있다.



[그림 2] 항복응력 대 자기장 강도
[Fig. 2] Yield Stress vs. Magnetic strength

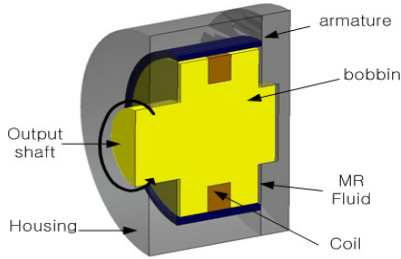
2.2 회전형 MR 유체 브레이크의 구조

본 연구에서 사용된 MR유체는 LORD사의 MRF-132-LD이며, 항복응력과 자기장 강도와 관계는 그림 2와 같다 [11]. MR유체의 항복응력은 자기장에 대하여 일반적으로 지수함수의 관계인 αH^β 의 식으로 표현되며, α , β 와 같은 계수는 MR유체의 조성 조건에 따라 다르게 나타나는 MR유체의 고유한 값이다[12]. 본 연구에 사용된 MR 유체의 항복응력은 그림으로부터 항복응력을 자기장의 함수식으로 표현하면 $\tau_y = 53.3 - 58.43e^{-0.00943H}$ (kPa) 이 된다. 여기서 H 는 자기장 세기를 나타낸다. 본 연구에 사용된 MR유체의 물성치는 표 1에 나타내었다[11].

[표 1] MR 유체의 대표적 특성(MRF-132-LD)

[Table 1] Typical Properties of MR fluid (MRF-132-LD)

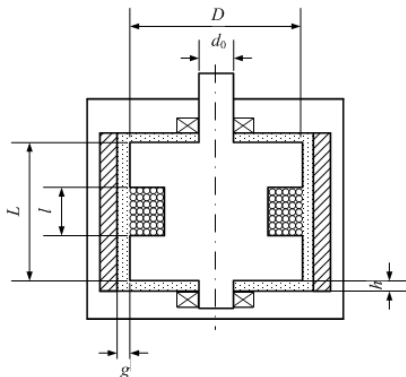
Viscosity, Pa-s @ 40°C	0.092
Density, g/cm ³	2.98~3.18
Solids Content by Weight, %	80.98
Flash Point, °C	>150
Operating Temperature, °C	-40 to +130



[그림 3] MR유체 브레이크의 개략적 구조

[Fig. 3] The schematic configuration of the MR fluid brake.

본 연구에서 제안한 MR유체 브레이크의 구조는 회전형 브레이크형식이며, MR유체 브레이크의 구조를 나타내면 그림 3과 같다. 그림에 나타난 바와 같이 내부 실린더는 자기장을 형성하기 위하여 코일이 감겨진 보빈으로 구성되어 있다. 감겨진 코일에 전류를 공급하면 보빈에 감겨져 있는 코일 주위에 자기장이 형성되며, 생성된 자기장은 내부 실린더를 자기 경로로 하여 균일하게 형성된다. MR유체에 부하되는 자속을 균일하게 형성되게 하기 위하여 하우징 안쪽에 접극자(armature)를 설치하였다. MR 브레이크 설계 및 제작에 필요한 설계변수를 그림 4에 나타내었다.



[그림 4] MR유체 브레이크의 기하학적 변수들

[Fig. 4] Geometric parameters of the MR fluid brake.

그림 4에서 D 는 내부 실린더의 직경, h 는 하우징과 솔레노이드의 옆면 사이의 간극, g 는 자기장이 형성되는 내부 실린더와 접극자 사이의 간극, d_0 는 내부 실린더의 출력축의 직경, L 은 내부 실린더의 폭, l 은 코일이 감겨져 있는 솔레노이드 부위의 폭을 나타낸다.

관절 운동을 하면 하지 재활운동 기구의 상부 프레임에 연결된 내부 실린더가 하우징의 안쪽에서 회전 운동을 하게 된다. MR유체 브레이크에서 발생하는 토크는 다음과 같다.

$$T = T_{\eta} + T_{MR} + T_f \quad (1)$$

여기서, T_{η} 는 유체의 점성에 의한 토크를 나타내며, T_{MR} 은 MR유체의 항복응력에 의하여 발생하는 토크를 나타낸다. 그리고 T_f 는 마찰 토크를 나타낸다. 내부 실린더의 회전 각속도를 ω 라 하면, 내부 실린더의 회전으로 인하여 유체의 점성에 의하여 발생하는 토크는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$T_{\eta} = \frac{\pi \eta \omega D^2 L}{4g} + \frac{\pi \eta \omega (D^4 - d_0^4)}{16h} \quad (2)$$

여기서 η 는 MR유체의 자기장이 인가되지 않은 상태의 유체점성계수이다.

MR유체에 공급되는 전류에 의한 자기장의 변화에 의하여 나타나는 토크는 다음과 같이 된다.

$$T_{MR} = \tau_y A \frac{D}{2} = \frac{\tau_y \pi D^2 (L-l)}{2} \quad (3)$$

여기서 τ_y 는 MR유체의 항복응력이다. 따라서 위의 식들을 식 (1)에 적용하면 MR브레이크에서 나타나는 토크는 다음과 같이 된다.

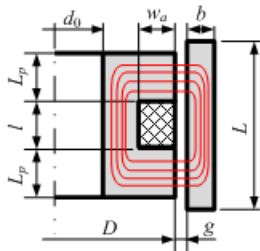
$$T = \frac{\pi \eta \omega D^2 L}{4g} + \frac{\pi \eta \omega (D^4 - d_0^4)}{16h} + \frac{\tau_y \pi D^2 (L-l)}{2} + C_{cf} \operatorname{sgn}(\omega) + C_{vf} \omega \quad (4)$$

여기서 C_{cf} 는 쿨롱마찰계수, C_{vf} 는 점성 마찰 계수, $\operatorname{sgn}(\cdot)$ 는 signum 함수이다.

3. MR 유체 브레이크의 제작 및 실험

3.1 MR 유체 브레이크의 자기장 해석

본 연구에서 제안한 MR 유체 브레이크는 공급하는 전류의 세기에 따라 변하는 자기장의 세기에 의하여 전단력이 변하는 구조를 갖는다. 식 (4)에 나타난 바와 같이 MR 유체 브레이크에서 발생하는 토오크는 자기장의 세기에 영향을 받으므로, 제안된 MR 유체 브레이크 내에서의 자기장의 세기와 분포를 파악하는 것은 매우 중요한 일이다. MR 유체 브레이크의 부착 공간 및 크기 등의 제한 조건을 고려하고, 최대 토오크가 발생할 수 있는 자기장의 세기 분포를 갖도록 설계변수를 결정한다.



[그림 5] MR 유체 브레이크의 자기구조 개략도
[Fig. 5] The schematic diagram of the magnetic structure of the MR fluid brake.

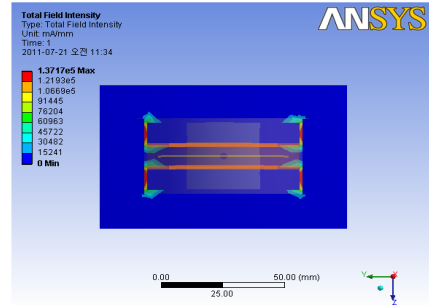
MR 유체 브레이크 내에 발생하는 자기장의 세기를 파악하기 위하여 상용 소프트웨어인 ANSYS workbench를 사용하였다. 자기장의 분포를 파악하기 위하여 그림 5와 같은 자기 구조를 갖도록 모델링하였다. 해석에 사용된 각 재료의 자기장에 관련된 물성치는 표 2에 나타내었다.

[표 2] 해석에 사용된 MR 유체 브레이크의 자기 특성
[Table 2] Magnetic properties of the MR fluid brake used in FE analysis.

component	Material	Relative permeability	Saturation Flux Density
ferro-magnetic	structure steel	10,000	1.5Tesla
coil	copper	1	-
air	-	1	-

해석에 사용된 총 노드의 수는 71,380개이며, 총 요소의 수는 43,125개이다. 해석에 사용된 솔루션은 ANSYS Workbench 안에 포함되어 있는 전자기장 해석을 사용하였으며, 정자기장(magnetostatic)의 해석 방식을 사용하였다. 솔레노이드 역할을 하는 내부실린더의 코일의 권선 수는

140번으로 하였으며, 공급하는 전류는 2A로 하였다.



[그림 6] ANSYS Workbench에 의한 자기장 강도
[Fig. 6] The magnetic field intensity by ANSYS Workbench.

그림 6은 ANSYS Workbench를 사용하여 MR 유체 브레이크 내에 생성된 자기장의 세기에 대한 해석 결과를 나타낸 것이다. 솔레노이드 양쪽의 자극과 접극자 사이에 자기장이 형성되는 것을 확인할 수 있다. 발생하는 자기장 세기(field intensity)의 최대값은 137.17 [kA/m]이며, 내부 실린더와 접극자 사이에는 91[kA/m] 이상의 자기장이 형성되는 것을 확인할 수 있다. 내부 실린더와 접극자 사이에 91kA/m의 자기장이 형성되는 경우, Lord사의 자료를 이용하는 경우 MR 유체의 항복응력은 약 20 kPa 정도의 크기를 나타낼 것으로 예측된다. 그림 6의 경우와 같이 내부 실린더와 접극자 사이에 90kA/m 이상의 자기장이 형성되는 경우의 변수들은 표 3과 같으며, 이 치수를 바탕으로 MR 유체 브레이크를 제작하였다.

[표 3] MR 유체 브레이크의 자기구조 변수들
[Table 3] Parameters of the magnetic structure of the MR fluid brake.

Parameter	value
length of armature (L)	32 mm
diameter of core(D)	62 mm
length of pole(L_p)	10 mm
diameter of shaft(d_0)	30 mm
gap(g)	1 mm
width of armature(w_a)	3 mm
length of solenoid(l)	8 mm

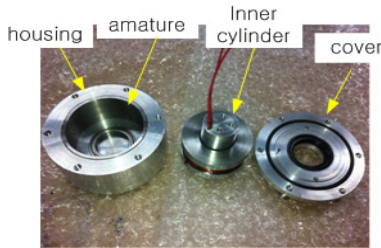
3.2 MR 유체 브레이크의 제작

본 연구에서 제안한 MR 유체 브레이크의 성능을 평가하기 위하여 제작한 MR 유체 브레이크의 구성품은 그림 7과

같다. 하우징 안에 내부 실린더가 장착되며, 커버로 밀폐하며, 밀폐된 공간에 MR유체를 봉입하는 구조이다.

내부 실린더에 솔레노이드의 역할을 위하여 감은 코일은 직경 0.7mm의 에나멜선을 사용하였으며, 감은 권선 수는 140회로 하였다. 직경이 큰 코일을 사용하게 되면, 코일의 저항을 낮출 수 있지만, 권선 공정을 고려하여 0.7mm의 코일을 사용하였다.

MR 유체 브레이크의 주요 치수는 표 3에 나타난 바와 같다. 전체 시스템의 무게와 자기 손실을 억제하기 위하여 하우징은 알루미늄을 사용하였다. MR 유체의 누유를 방지하기 위하여 하우징의 옆면에는 O링을 사용하였으며, 내부 실린더의 축과 커버가 접촉하는 회전부에는 스프링 내장형 오일 씰(oil seal)을 사용하였다. 오일 씰에 의해 발생하는 저항력은 식 (4)에 나타난 마찰에 의한 토오크이며, 토오크 측정 결과 약 0.5 N·m의 토오크 값이 발생하는 것으로 나타났다.



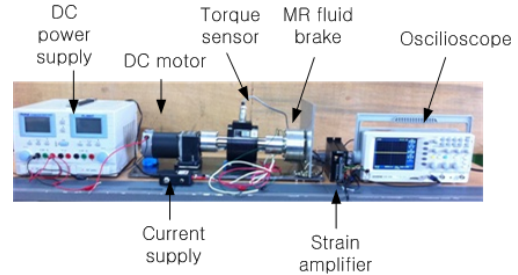
[그림 7] 제작된 MR 유체 브레이크의 사진
[Fig. 7] Photo of the manufactured MR fluid brake.

3.3 실험 방법

공급하는 전류에 의하여 저항력이 변하는 MR유체 브레이크의 성능을 평가하기 위한 실험 장치는 그림 8과 같다. DC 모터에 전원을 공급하면 MR 유체 브레이크의 내부 실린더와 연결된 축이 회전하게 되며, 내부 실린더가 회전하게 되면 하우징 안에 담겨져 있는 MR 유체의 점성에 의하여 저항력에 발생하게 된다. 이때 발생하는 저항력을 DC 모터와 MR유체 브레이크 사이에 위치한 토오크 센서(Senstech, SBM-20K)로 측정하였다. 토오크 센서에서 발생하는 신호를 증폭하기 위하여 증폭기(Senstech, ST-AM100)를 사용하였으며, 증폭기를 통과한 신호를 오실로스코프(Tektronix, DPO4054)로 측정하였다. 실험에 사용한 토오크 센서의 측정 가능한 최대값은 20kgf·cm이다.

부하가 변하여도 일정한 토오크를 가하기 위하여 감쇄기가 부착된 DC모터(GGM, K8DG40N2)를 사용하였다. 감쇄기(GGM, K8G150B)를 장착할 경우 허용 토오크는 최대 8 N·m로 MR 유체 브레이크에 의하여 저항력이 증가하여도 일정한 회전력을 가할 수 있는 용량이다.

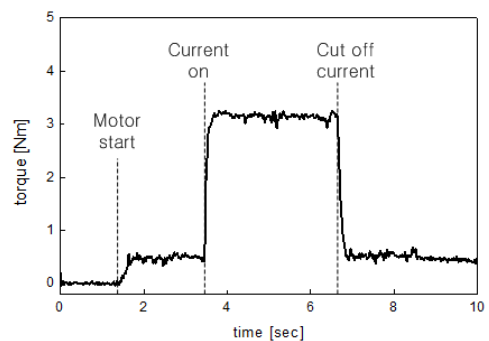
MR 브레이크에 전류를 공급하는 전류원은 LORD사의 Wonder box device controller kit을 사용하였다. MR 브레이크에 공급하는 전류의 세기는 0.5A, 1.0A, 1.5A, 2.0A로 달리 하였다. 공급하는 전류의 최대값을 2.0A로 한 것은 전류원으로 사용한 장치의 최대값이 2.0A이기 때문이다. DC모터가 회전하고 있을 때, 정해진 전류를 공급하고, 이때 발생하는 토오크의 값을 측정하였다.



[그림 8] 토오크 측정을 위한 실험장치의 사진
[Fig. 8] Photo of the experimental apparatus for torque measurement.

4. 결과 및 고찰

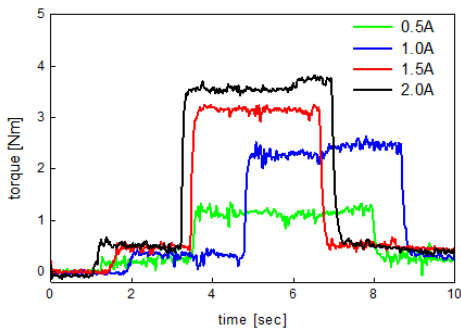
공급하는 전류의 세기에 따른 MR유체의 전단응력의 변화에 의하여 전단력이 변하거나 토오크 값이 변하는 MR유체 브레이크의 특성을 파악하기 위하여 회전하는 MR 유체 브레이크에 전류를 공급하여 나타나는 토오크를 측정하였다.



[그림 9] 1.5A를 공급한 경우의 토오크 변화
[Fig. 9] Time history of torque of the case which supplies 1.5A.

그림 9는 MR 유체 브레이크에 1.5A의 전류를 공급하였을 때의 토오크 값의 변화를 나타낸 것이다. 계측 시작 후 일정 시간이 경과한 후 MC모터를 회전하게 한 후, 약

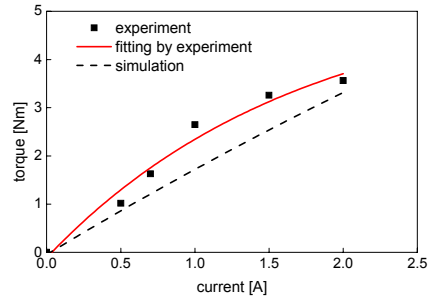
1초 경과 한 후 전류를 공급하고, 약 2초 후에 전류를 차단하였다. DC 모터의 회전 각속도는 1.256[rad/sec]로 일정하게 하였다. 그림에 나타난 바와 같이 1.5A의 전류를 공급하는 순간 MR유체 브레이크의 저항력에 의하여 토오크가 증가하여 3.2N·m의 토오크 값을 나타내고 있다. 공급하는 전류에 빠르게 반응하여 토오크가 증가하여 나타나며, 전류를 공급하는 동안 일정한 크기의 토오크 값을 나타낸다. 전류를 차단한 경우에도 빠르게 반응하여 토오크의 크기가 줄어드는 것으로 나타나고 있다. 전류를 공급하지 않은 경우에도 약 0.5 N·m의 토오크 값이 나타나고 있는데, 이는 MR 유체의 누유를 막기 위하여 사용한 오일 씰의 스프링 작용에 의한 것으로 생각된다.



[그림 10] 다른 전류를 공급한 경우의 토오크 변화
[Fig. 10] Time history of torque of the case which supplies different ampere.

그림 10은 각각 다른 전류를 공급한 경우의 MR유체 브레이크의 토오크 변화를 나타낸 것이다. 공급하는 전류의 세기가 증가함에 따라 토오크가 증가하여 나타나고 있다. 0.5A의 전류를 공급한 경우에는 약 1 N·m 정도의 토오크가 나타나며, 1A의 전류를 공급한 경우에는 약 2.3 N·m의 토오크를 나타낸다. 1.5 A의 전류를 공급한 경우에는 토오크가 증가하여 약 3.2N·m의 정도의 토오크를 나타내어 공급하는 전류의 세기가 증가함에 따라 선형적으로 증가하는 양상을 나타내고 있다. 그러나 2.0A의 전류를 공급한 경우에는 토오크의 증가가 둔화되어 약 3.6N·m 정도의 토오크를 나타내고 있다. 이러한 현상은 MR 유체 브레이크의 자기 포화에 의한 현상이기 보다는 본 연구에 사용된 MR유체 자체의 특성에 기인하는 것으로 판단된다. 본 연구에 사용된 MR유체는 그림 2의 MR 유체의 자기장과 항복응력 특성곡선에서 나타난 바와 같이 낮은 자기장 영역에서는 항복응력이 선형적으로 증가하지만, 100kA/m 이상의 자기장에서는 항복응력의 증가분이 감소하는 지수 함수의 형태로 나타나는 특성을 갖는다. 이러한 MR유체의 특성이 반영되어 나타나는 것으로

생각된다. 그림에서 반응이 시작되는 시점이 다르게 나타나는 것은 전류 공급 시점으로 무작위로 하여 측정하였기 때문이다.



[그림 11] 전류 변화에 따른 MR 유체 브레이크의 토오크 변화
[Fig. 11] Field-dependent torque of the manufactured MR fluid brake

그림 11은 MR 유체 브레이크에 공급하는 전류에 대한 토오크 값의 변화를 나타낸 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 공급하는 전류의 세기가 증가함에 따라 MR 유체 브레이크에서 발생하는 저항력에 의한 토오크의 크기도 증가하여 나타나고 있다. 그러나 전류의 증가에 따른 토오크의 증가는 선형적으로 증가하지 않고 지수 함수적으로 변하는 것으로 나타나고 있으며, 이는 그림 2에 나타난 MR유체 자체의 특성에 기인한 것이라 생각된다. 그러나 식(4)를 이용한 시뮬레이션 결과는 실제의 실험결과 보다는 작은 값을 나타내고 있다. 이는 회사에서 제공한 자료를 바탕으로 한 그림 2로부터 도출한 자기장에 대한 항복응력의 함수식의 오차에 기인하는 것으로 생각된다.

5. 결론

본 연구에서는 MR유체를 특징으로 하는 소형 브레이크를 제안하고, 회전식 MR 유체 브레이크를 제작하여 공급하는 전류에 따른 토오크의 변화를 관찰하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. 제안된 MR 유체를 특징으로 하는 소형 브레이크에 적용할 수 있는 자기장의 함수로 표현된 토오크에 관한 수식을 도출하였다.
2. MR 유체 브레이크의 자기 구조를 생성하고 자기구조에 대하여 ANSYS Workbench를 이용하여 자기 해석을 수행한 결과, 솔레노이드와 접점자 사이에 균일한 자기장이 생성되는 것을 확인하였으며, 최

- 대 자기장 강도는 137 kA/m로 나타났다.
3. 제작된 MR 유체 브레이크는 공급하는 전류에 의하여 MR유체의 저항력이 증가하여 토오크가 증가하여 나타났으며, 매우 빠르게 응답하는 것으로 나타났다.
 4. 공급하는 전류의 세기에 따른 토오크의 증가하는 경향은 MR유체 자체의 자기장에 대한 항복응력 특성과 동일하다.

References

- [1] I. H. Jung, T. Kim, "Study on Value Establishment and Local Welfare Policy Under the South Korea's Low-Fertility and Aging Population Structure", J. of the Korean Urban Management Association, Vol. 23, No. 3, pp.3~27, 2010.
- [2] Korean Statistical Information Service, "estimated future population", <http://kosis.kr>, 2005.1.
- [3] K. Kim, C. H. Yu, K. J. Hong, T. K. Kwon, C. U. Hong, N. G. Kim. "Study on the Gait Analysis of the Aged with Lower Limbs Orthotics", Engineering Research, Vol. 36, pp.67~76, 2005.
- [4] Carlson, J. D., Catanzarite, D. M. and St. Clair, K. A., "Commercial Magneto -rheological Fluid Devices", Proceedings of 5th International Conference on ER Fluids, MR suspension and Associated Technology, pp.20~28, 1996.
- [5] Goncalves, F. D., Jeong-Hoi Koo, Ahmadian, M., "A Review of the State of the Art in Magneto -rheological Fluid Technologies—Part I: MR fluid and MR fluid models.", Shock & Vibration Digest, Vol. 38, No. 3, pp.203~219, 2006.
- [6] H. J. Song, D. Woo, S. B. Choi, "Dynamic Characteristic Analysis of MR Impact Damper for Vehicle System", Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 16, No. 7, pp.754~761, 2006.
- [7] Dong-Young Lee, J. W. Sohn, Seung-Bok Choi, "A New Type of Active Engine Mount System Featuring MR Fluid and Piezostack", Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 19, No. 6, pp.583~ 590, 2009.
- [8] Eun-Seok Kim, Seung-Bok Choi, "Control Performance Evaluation of MR Fan Clutch for Automotive: Experimental Investigation", Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 20, No. 1, pp.51 ~ 57, 2010.
- [9] patent, "Health Machine Using Magnetorheological Fluid", 100793394, 2008.
- [10] Young Wan Jin, "Lower Limbs Muscle Comparative Research for Verification Effect of Rehabilitation Training Program of Total Hip Arthroplasty", Journal of Life Science, Vol. 20, No. 4, pp.543~ 548, 2010.
- [11] Load Corporation, Load technical data, [http://www.lord.com/Products-and-Solutions/Magneto-Rheological-\(MR\)](http://www.lord.com/Products-and-Solutions/Magneto-Rheological-(MR)).
- [12] W. C. Park, H. C. Lee, "Study on design of the magnetic pole used in the dashpot type MR fluid mount", Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol. 10, No. 3, pp.482 ~487, 2009.

박 우 철(Woo-Cheul Park)

[정회원]



- 1987년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학사)
- 1989년 8월 : 인하대학교 대학원 기계공학과 (공학석사)
- 1997년 2월 : 인하대학교 대학원 기계공학과 (공학박사)
- 1997년 8월 ~ 현재 : 강원대학교 자동차공학과 교수

<관심분야>

지능형 구조물, 시스템설계 및 정밀제어, 진동 및 소음 제어, 친환경 기계설비

이 현 창(Hyun-Chang Lee)

[정회원]



- 1981년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학사)
- 1989년 5월 : Univ. of Maryland 기계공학과 (공학석사)
- 1995년 5월 : Old Dominion Univ. 기계공학과 (공학박사)
- 1996년 9월 ~ 현재 : 강원대학교 자동차공학과 교수

<관심분야>

System ID, 시스템 설계, 진동 및 소음 제어, 구조해석, FEM

김 일 겸(II-Gyoum Kim)

[정회원]



- 1988년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학사)
- 1990년 2월 : 인하대학교 대학원 기계공학과 (공학석사)
- 2000년 2월 : 인하대학교 대학원 기계공학과 (공학박사)
- 2004년 3월 : 강남필터(주) 기업부설연구소 연구소장

- 2012년 2월 ~ 현재 : 첨단기공(주) 부설연구소 연구소장

<관심분야>

열유체시스템설계 및 제어, 공기질 관련 설비, 산업설비 기계