

영구자석을 이용한 회전형 MR 브레이크의 특성해석

MR Rotary brake with permanent magnet

*#윤동원¹, 박중호², 이성휘¹, 김병인¹, 함상용¹

*#D.W.Yun(dwyyun@kimm.re.kr)¹, J. H. Park², S.H. Lee¹, B.I.Kim¹, S.Y.Ham¹

¹ 한국기계연구원 지능형생산시스템 연구본부

² 한국기계연구원 나노기계 연구본부

Key words : MR, MR brake, permanent magnet, rotary brake

1. 서론

고속으로 회전하는 장치의 응답성에 고정밀도로 추종하기 위해서는 기존의 파우더 브레이크 보다는 인가 자기장에 의해 수 ms 단위로 점성변화를 제어할 수 있는 장치가 필요하며, 기능성 유체를 이용한 브레이크가 이에 해당한다. 이 중, MR (Magneto-Rheological) 유체를 이용한 브레이크가 대표적인 브레이크라고 할 수 있다.

기존의 회전형 MR 브레이크는 코일에 흐르는 전류를 이용하여 MR 유체 주위에 자기장을 형성하여 작동시키는 방식이다[1]. 참고문헌 [2]에서 제시한 영구자석을 이용한 새로운 방식의 회전형 MR 브레이크는 제어 전류를 사용하지 않고, 영구자석과 스프링, 원심력을 이용하여 회전속도를 제한하는 새로운 개념의 회전형 MR 브레이크이다. 본 연구에서는 이 새로운 시스템에 대한 수치적 해석을 수행하여, 시스템의 성능과 특성을 알아보았다. 특히, 이번 연구에서는 스테이터의 형상에 따른 시스템의 특성에 대해 고찰해 보았다.

2. 영구자석을 이용한 MR 브레이크

자기유변유체(MR fluid)는 외부 자기장의 세기에 따라 그 유체의 점성이 변화하는 물질이다.

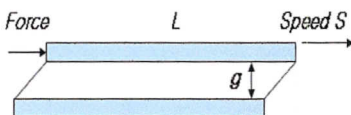


Fig. 1 Model of direct-shear mode

MR 유체 내에서 발생하는 전단응력이 항복응력 이상일 때는 Bingham plastic 모델처럼 거동하게 되고,

$$\tau = \tau_y + \eta' \dot{\gamma} \quad (1)$$

의 관계식이 성립하고, 발생하는 전단응력이 항복응력보다 작을 때에는

$$\tau = G\gamma \quad (2)$$

의 관계식이 성립하며, 점탄성적으로 거동하게 된다. 여기서, G는 재료의 complex modulus로써 자기장에 의존적인 값이고, η 는 자기장이 인가되지 않을 때의 점성계수이다.

MR 브레이크와 같은 Fig. 1과 같은 direct-shear mode 시스템에서 발생하는 힘은

$$F = F_\eta + F_\tau = \frac{\eta SA}{g} r + \tau_y A \quad (3)$$

와 같이 나타낼 수 있다. 여기에서, S는 상대 속도이고, $A=Lw$ 로써, 면적을 뜻하고, r은 회전축의 중심에서 자석까지의 거리이다. 여기서, w는 전단면의 폭이다.[3]

식(3)에서 τ_y 는 자기장의 세기가 커질수록 커지는 값이므로, MR 브레이크에서 저항토크를 증가시키기 위해서는 MR 유체에 발생하는 자기장의 세기를 키워야 한다는 것을 알 수 있다.

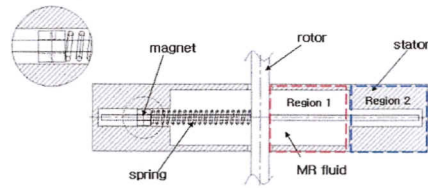
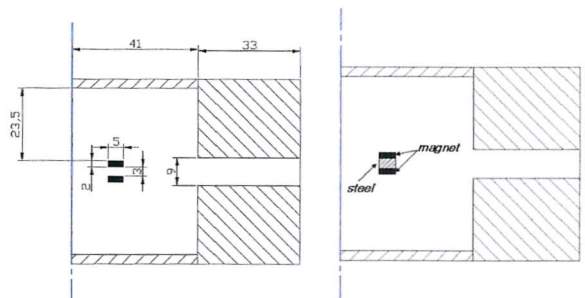


Fig. 2 MR rotary brake system

Fig. 2는 영구자석을 이용한 회전형 MR 브레이크의 개념도를 보여주고 있다. 시스템은 MR 유체가 저장되어 있는 브레이크 케이스인 스테이터, 회전 로터, 영구자석, 로터와 영구자석 사이의 스프링으로 구성되어 있다. 로터가 정지 상태일 때에는 스프링의 힘에 의해 자석은 region 1 부분에 위치하게 되고, 회전속도가 증가함에 따라 원심력에 의해 자석은 중심에서 바깥 방향으로 움직이게 된다. 이때 특정 속도 이상이 되면, 자석은 region 1에서 region 2로 움직이게 되고, region 2는 region 1에 비해 자석과 스테이터 간의 공극이 훨씬 작은 브레이크 케이스의 형상에 의해 자석과 스테이터 사이의 공극의 자속밀도가 증가하게 된다. 따라서, region 2에서는 region 1에 비해 MR 유체의 점성이 급격히 증가하게 되고, 따라서, 브레이크의 제동력이 증가하게 된다. 따라서, 스프링의 강성과 region 1과 region 2의 위치의 적절한 설계에 의해 어떤 특정 회전속도 이상에서 제동력 및 감쇠력이 증가하는 수동형 브레이크 또는 댐퍼를 설계할 수 있다. 본 연구에서는 영구자석이 4개인 모델에 대해 해석을 수행해 보기로 하였다.

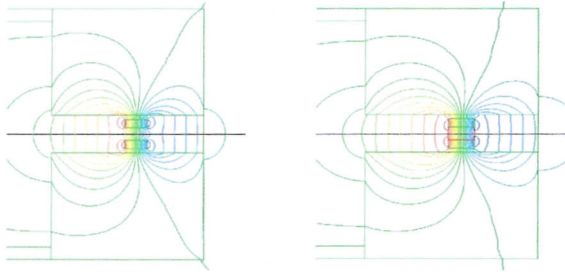
3. 시스템 특성해석

실제 시스템 제작시, 회전원판 사이를 자석이 움직이기 위해서, 회전원판에 붙어서 반경방향으로 움직이는 캐리어를 만들고, 그 캐리어의 상하에 자석을 고정하기로 하였다. 따라서, 자석과 스테이터의 형상은 Fig. 3(a)와 같은 형상이어야 한다.



(a) case 1 (b) case 2
Fig. 3 Section view of the system

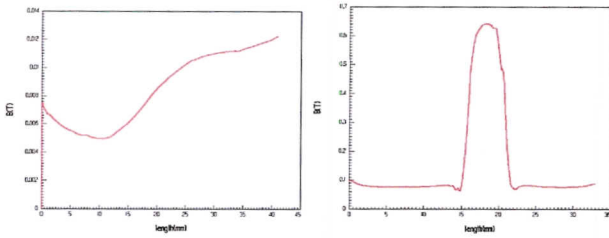
이때 캐리어의 재질에 따른 특성을 비교하기 위하여, Fig. 3과 같이 캐리어가 비자성체인 경우(Fig. 3 (a))와 자성체인 경우(Fig. 3 (b))에 시스템을 해석해 보았다.



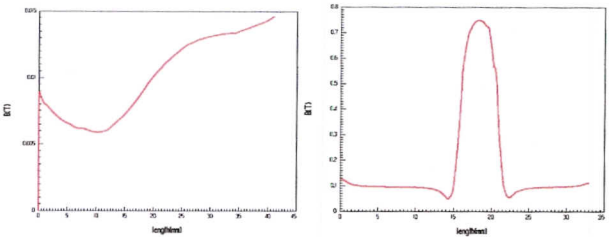
(a) region 2 of case 1 (b) region 2 of case 2
Fig. 4 Flux line distribution

Fig. 7에서도 알 수 있듯이, 형상의 변화 비율이 더 적은 case 2의 경우에서 길이에 따른 자계강도의 변화비율이 더 작다는 것을 알 수 있다.

Fig. 4에 region 2영역에서의 자속선 분포의 해석결과를 보여주고 있다. 다음으로, 각각의 모델에 대하여, 자석과 스테이터 사이의 에어갭에서의 자속밀도를 구해 보았다.



(a) region 1 of case 1 (b) region 2 of case 1

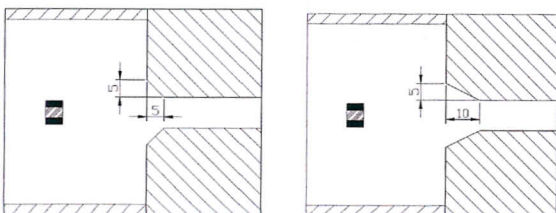


(c) region 1 of case 2 (d) region 2 of case 2

Fig. 5 Flux density between magnet and stator

Fig. 5에서 알 수 있듯이, region 1에서의 자속밀도는 case 1과 case 2에서 약 0.01T 정도이며, region 2에서의 최대 자속밀도는 case 1의 경우 약 0.64T, case 2의 경우 약 0.75T라는 것을 알 수 있었다. 본 시스템이 제대로 작동하기 위해서는 region 1에서는 자계 강도가 약할수록 좋고, region 2에서는 자계강도가 강할수록 좋다. 따라서, Fig. 5의 해석결과, 캐리어의 재질은 자성체가 좋다는 것을 알 수 있다.

다음으로 스테이터에서 면적 급변 부위의 형상이 시스템에 미치는 영향을 알아보았다. Fig. 6과 같이, 두 영역의 경계에 있는 부분의 모서리에 각각 5mm*5mm, 5mm*10mm 크기의 모따기를 한 모델을 case 1, case 2라 하고, 자석의 위치에 따른 자석과 자계 스테이터 사이에서의 자계강도의 변화를 구해보았고, Fig. 7에 나타내었다.



(a) case 1 (b) case 2

Fig. 6 Effect of the stator shape

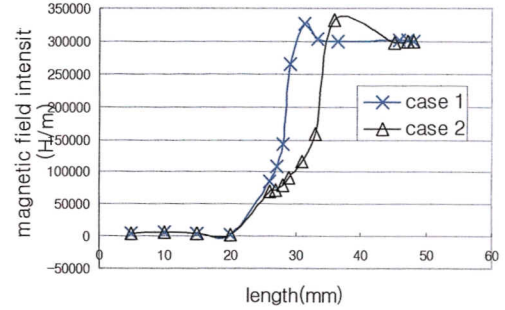


Fig. 7 Magnetic field intensity

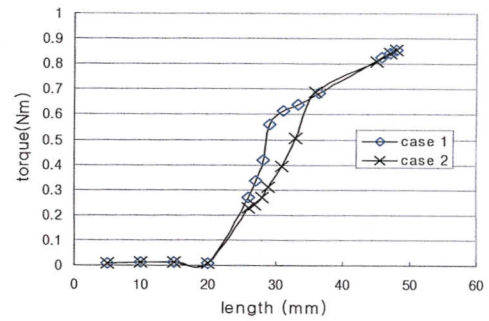


Fig. 8 Torque

Fig. 8에 중심으로부터 자석의 위치에 따른 토크의 해석결과를 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이, 영역 경계부의 형상에 따라서, 브레이크의 토크 특성 또한 달라진다는 것을 알 수 있었고, 형상의 세장비의 비율이 작아지면, 토크의 변화량의 기울기도 작아진다는 것을 알 수 있었다.

4. 결론

본 논문에서는 영구자석을 이용한 회전형 MR 브레이크에 대한 해석을 수행하였다. 영구자석을 반경방향으로 운반하는 캐리어의 재질에 따른 시스템 특성을 알아보았으며, 자성체를 이용하여, 캐리어를 만드는 것이 시스템 성능 향상에 도움이 된다는 것을 알 수 있었다. 또한, 영역 경계부의 모서리의 모따기 형상에 따라 시스템 특성이 달라진다는 것을 알았으며, 모따기의 세장비가 작을 수록, 자석의 위치에 따른 토크의 변동을 또한 작아진다는 것을 알 수 있었다.

후기

본 연구는 한국기계연구원의 자체사업 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- (1) D.W.Youn, J.H.Park, S.K.Choi, S.N.Yun, S.Y.Ham, 2006, "Electromagnetic Analysis and design of rotary MR brake", KSPSE conference, pp. 146-151
- (2) 윤동원, 박중호, 박희창, 최상규, 윤소남, "영구자석을 이용한 회전형 MR 브레이크", 2007 정밀 공학회 춘계학술대회, pp. 107-108
- (3) Mark R. Jolly, Jonathan W. Bender, and J.David Carlson, "Properties and application of commercial magnetorheological fluids", Thomas Lord Research center, technical report of LORD company.