

고출력 MR 브레이크의 동적 특성에 관한 연구

A Study on Dynamic Characteristics of High-Torque MR Brake

*#박중호¹, 김진규¹, 윤동원¹, 함상용¹, 노종호², 유진산²

*J. H. Park(jhpark@kimm.re.kr)¹, J. G. Kim¹, D. W. Yun¹, S. Y. Ham¹, J. H. Noh², J. S. Yoo²

¹ 한국기계연구원 지능형정밀기계연구본부, ²(주)하이드로메틱스

Key words : MR(Magneto-rheological) Fluid, Brake, Magnetic Field, Torque, Hysteresis, Tension Control

1. 서론

고속으로 대량의 인쇄물을 출력하는데 사용되는 장치를 롤투롤(Roll-to-Roll) 웹(Web) 이송장치라고 하는데 웹의 처짐이나 구겨짐을 방지하기 위하여 장력제어가 필수적으로 사용되며, 일반적으로 파우더 브레이크가 많이 이용되고 있다. 파우더 브레이크는 자기장을 인가함으로써 자성을 가지고 있는 파우더가 자기장에 따라 체인형상의 클러스터를 형성하여 마찰력을 발생하게 되어 브레이크 작용을 한다. 하지만, 성능 대비 외형 사이즈가 크며 고속응답을 기대하기 어렵고 일정 사용시간이 지나면 파우더를 보충해야 된다는 문제점을 가지고 있다. 따라서 고속으로 회전하는 롤투롤 웹 이송장치의 응답성에 고정밀도로 추종하기 위해서는 인가 자기장에 의해 수 ms 단위로 점성변화를 제어할 수 있는 MR (Magneto-Rheological) 유체를 이용한 소형 로터리 브레이크의 개발을 필요로 하고 있다.

본 연구에서는, 기존의 파우더 브레이크를 대체하기 위한 고출력 MR 브레이크의 개발을 목적으로, 로터 및 스테이터에 돌기부를 형성하여 MR 유체가 채워지는 공극부의 길이를 가능한 길게 확보한 MR 브레이크 구조를 제안하고 설계, 제작된 MR 브레이크 프로토타입에 대한 특성평가를 수행함으로써 그 타당성을 검토하였다.

2. 고출력 MR 브레이크

실리콘오일과 같은 전기절연성의 액체중에 수 μm 크기의 강자성체 입자들을 분산시킨 MR 유체는 인가한 자기장에 반응하여 입자들이 서로 밀집되어 체인구조와 같은 클러스터를 형성하여 유동저항의 발생에 의한 점성변화를 수 ms 단위로 저전압(12~24V)에서 1~2A의 전류에 의해 용이하게 제어할 수 있다. MR 유체의 항복강도는 전기장에 의해 반응하는 ER 유체보다 10배 이상이며 적용온도 안정범위도 -40°C 에서 150°C 에 이른다. 또한 MR 유체의 물성은 불순물에 민감하지 않으며 여러 가지의 첨가물 (계면활성제, 분산제, 마찰완화제, 내마모제 등)을 사용하면 안정성을 향상시킬 수 있다.

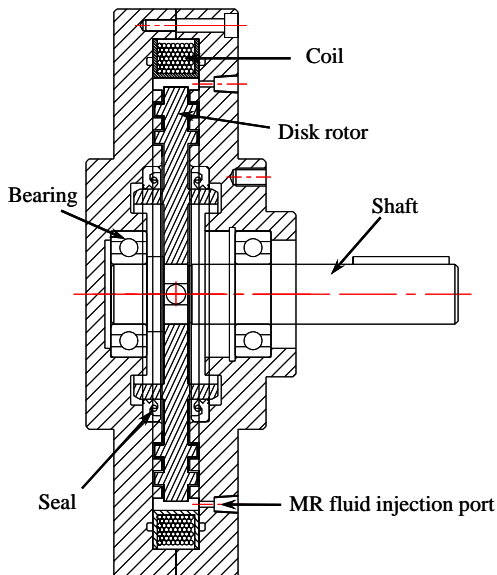


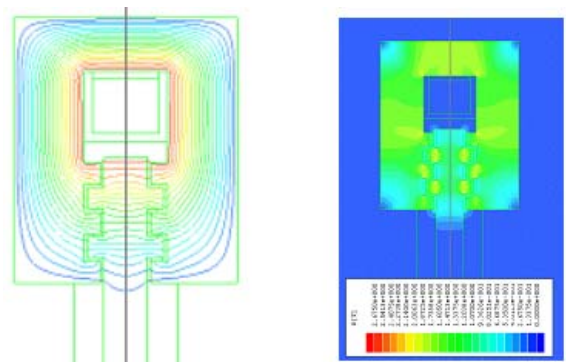
Fig. 1 Schematic of the designed MR brake

Table 1에 나타난 설계사양을 가지는 소형, 고출력 MR 브레이크를 Fig. 1에 나타난 바와 같이 설계, 제작하였다. 사용된 코일의 직경은 $\phi 0.6\text{mm}$, 코일턴수는 280턴이며 외형은 190mm 이고, 중량은 9.0kg 이다. MR 유체는 미국 LORD사 제품의 MRF-122-DG이며, MR 브레이크 공극에 가득 채웠을 때의 양은 약 40ml 이다. 설계된 MR 브레이크의 축대칭 모델에 대해서 전자기장 해석을 수행한 결과의 일례를 Fig. 2에 나타낸다. 코일턴수는 250턴, 공극부의 갭은 0.6mm , 입력전류는 2A 로 가정하였을 때의 로터와 스테이터 및 전자석 부분의 자속선과 자속밀도 분포를 보여주고 있다. 자기포화 없이 갭 부분에 있어서 일정한 자속밀도 값이 나타나고 있는 것을 알 수 있다. MR 브레이크에서 발생할 수 있는 최대토크를 구하기 위해서 이전 연구에서 얻어진 식⁽¹⁾을 이용하여 계산한 결과 약 $4.5\text{kgf}\cdot\text{m}$ 의 토크가 얻어져 설계사양을 만족시키고 있는 것을 알 수 있다.

MR 브레이크의 특성파악을 위한 실험장치를 Fig. 3에 나타낸다. 기본적인 구성은 MR 브레이크, 토크미터, AC 서보모터로 되어 있으며 15:1 감속기에 의해서 최고 200RPM 까지 회전시킬 수 있다. 토크미터는 가능한 측정분해능을 높이기 위해서 $5.0\text{kgf}\cdot\text{m}$ 의 용량을 사용하였다. MR 브레이크에의 입력은 전용 드라이버에 의해서 2A 까지 공급되어진다.

Table 1 Design parameters of MR brake

Maximum Applied current	2A
Maximum Torque	$4.5\text{kgf}\cdot\text{m}$
Outer diameter	less than 200mm
Maximum Rotational Speed	200RPM
MR fluids	MRF-122-FD



(a) Flux line (b) Flux density
Fig. 2 Analysis results of the MR brake

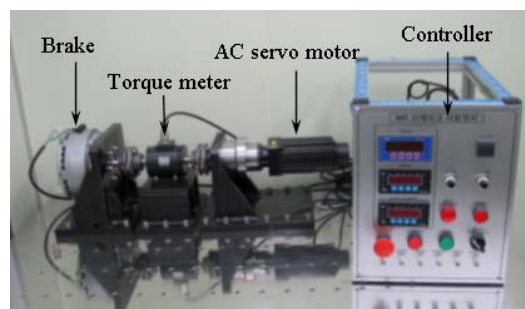


Fig. 3 Experimental apparatus

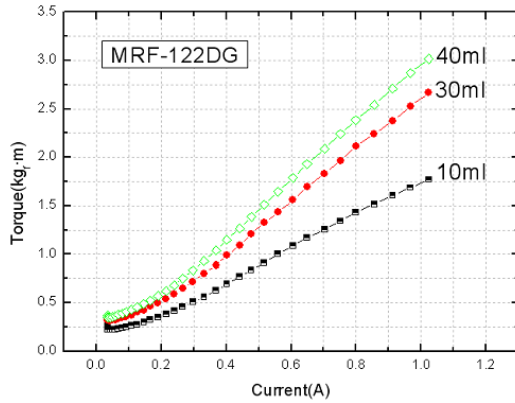


Fig. 4 Static characteristics with different injection quantity

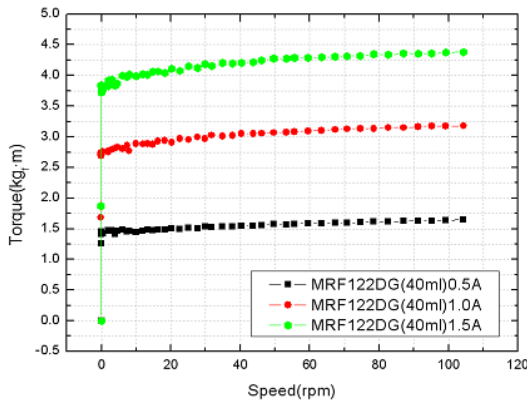


Fig. 5 Speed vs. Torque with constant current

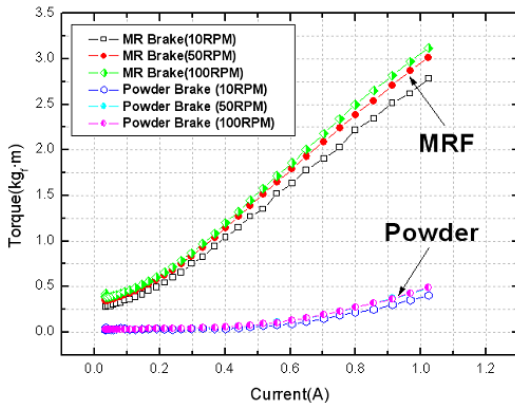


Fig. 6 Comparison results of static characteristics

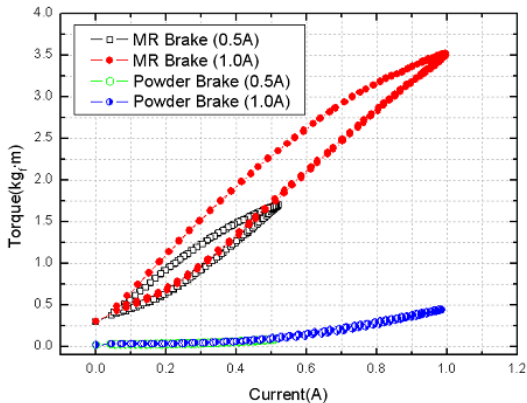


Fig. 7 Comparison results of hysteresis characteristics

3. 특성실험 및 결과

제작된 MR 브레이크에 MR유체를 가득 주입하였을 경우 (40ml)와 주입량을 감소시켰을 경우의 입력전류 대비 출력토크의 정특성 실험결과를 Fig. 4에 나타낸다. 출력토크가 주입량에 비례해서 감소하고 있지만, 적은 주입량으로도 동작하는 것이 확인되었다. Fig. 5에는 MR유체를 40ml 충전하고 정전류 인가시

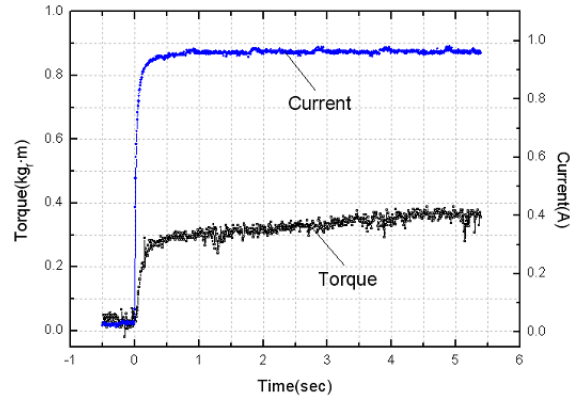


Fig. 8 Step response of powder brake

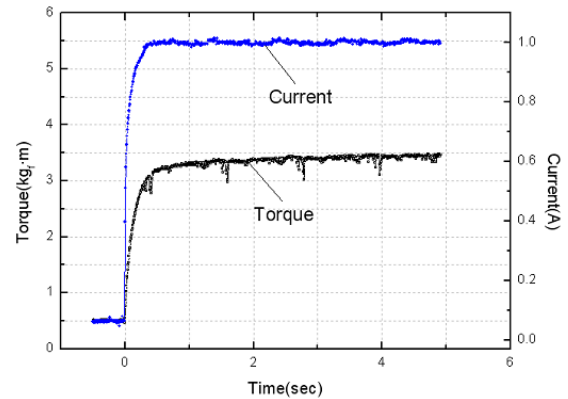


Fig. 9 Step response of MR brake

에 회전수에 따른 토크측정 값을 나타낸다. 회전수에 거의 영향을 받지 않고 일정한 토크가 얻어지는 것을 알 수 있다. 실험에서 목표치인 200RPM까지 증가시키지 않은 이유로서는 100RPM 이상, 1A이상의 입력을 인가하면 급격히 MR 브레이크에서 열이 발생하였기 때문이다. 장력제어 사용시에는 지속적으로 고전류가 인가되지 않고 필요에 따라서 간헐적으로 인가되기 때문에 큰 문제는 되지 않으리라고 예상되지만, 향후 시제품에서는 방열 특성을 고려할 필요가 있다. 또한, Fig. 6과 Fig. 7에는 기존 장력제어에 사용되는 파우더 브레이크(MR브레이크의 시제품과 비슷한 크기)와 성능 비교결과를 나타낸다. 실험조건은 같지만, 파우더브레이크가 저전류에 있어서 반응이 미약하고 전반적으로 선형적이지 못하다는 점과 성능이 MR 브레이크에 비해서 뒤떨어지는 것을 알 수 있었다. Fig. 8과 Fig. 9에는 1A의 전류를 스텝상으로 입력하였을 때의 파우더브레이크와 MR 브레이크의 동적특성을 나타낸다. MR유체의 주입량은 40ml이고, 회전수는 50RPM이다. 파우더브레이크의 토크값이 정상상태에 도달하지 않고 시간경과에 따라 조금씩 상승되는 관계로 상승시간을 정확히 구하기가 어렵지만, 대략적으로 MR브레이크가 0.42s, 파우더브레이크가 0.53s가 얻어져 MR 브레이크 개발의 타당성을 확인하였다.

4. 결론

본 연구는 인쇄기 등의 장력제어에 사용되는 기존의 파우더 브레이크가 가지고 있는 문제점을 극복하기 위해서, MR 유체를 이용한 고효율 브레이크의 개발을 목적으로, 새로운 형태의 브레이크 구조를 제안하고 전자기장 해석을 통하여 최적의 구조 설계변수를 확립하였으며 이를 바탕으로 MR 브레이크를 시제품 제작하고 정특성 및 동특성 실험을 통해서 파우더브레이크와의 성능을 비교함으로써 제안한 MR 브레이크의 타당성을 검증하였다.

참고문헌

1. D.-W. Youn, J.-H. Park, S.-K. Choi, S.-N. Yun, and S.-Y. Ham, 2006, "Electromagnetic Analysis and design of rotary MR brake", Proceedings of KSPSE autumn conference 2006, pp. 146-151.