

MR 브레이크 고출력화 설계에 관한 연구

A Study on Design for High-torque MR(Magnetorheological) Brake

박중호 · 서미영 · 이후승 · 함영복 · 윤소남 · 서응수

J. H. Park, M. Y. Seo, H. S. Lee, Y. B. Ham, S. N. Yun and E. S. Seo

Key Words: MR(Magneto-rheological) Fluid(MR 유체), Brake(브레이크), Tension Control(장력제어), Converting Machinery(컨버팅 장비), Electromagnetic Field Analysis(전자기장 해석)

Abstract: In this study, a MR(Magneto-rheological) brake to obtain high torque-to-size ratio instead of conventional powder brake is presented for high-tension control of converting machinery such as coater, slitte and so on. First, to obtain the higher performance than conventional powder brake, a MR brake with a modified rotor shape is newly designed and analyzed by using electromagnetic field analysis. Second, a prototype of the MR brake is fabricated with the optimized structural parameters and an experimental apparatus is constructed. Finally, basic characteristics between current and torque are experimentally investigated.

1. 서론

LCD용 기능성 필름, 금속박막 등 웹(Web)을 고속/대량으로 코팅하거나, 슬리팅함에 있어서 사용되는 컨버팅 장비는 웹의 처짐이나 구겨짐을 방지하기 위하여 장력제어가 필수적으로 사용되는데, 일반적으로 파우더 브레이크가 많이 사용되고 있다. 파우더 브레이크는 자기장을 인가함으로써 자성을 가지고 있는 파우더가 자기장에 반응하여 체인형상의 클러스터를 형성하여 마찰력을 발생하게 되어 브레이크 작용을 한다. 하지만, 성능 대비 외형 사이즈가 크며 고속응답을 기대하기 어렵고 장시간 사용시 성능이 떨어지며 습도에 약하고 일정 사용시간이 지나면 파우더를 보충해야 된다는 문제점을 가지고 있다. 따라서 고속응답에 고장력을 제어하기 위해서는 인가 자기장에 의해 수 ms 단위로 점성변화를 제어할 수 있는 MR(Magneto-rheological) 유체를 이용한 브레이크 개발을 필요로 한다. MR 유체는 유체주위에 작용하

는 전자기장의 세기에 따라 유체의 점성이 변화하는 유체로, MR 브레이크 자기회로에 대한 전자기장 해석을 통한 성능 해석 및 설계 변수의 최적화가 필요하다. Fig. 1은 컨버팅 장비에 사용되는 장력제어시스템의 개념도를 나타낸 것이다.

본 연구에서는, 기존의 파우더 브레이크를 대체하기 위한 MR 브레이크의 고출력화를 목적으로 로터 및 스테이터에 형성된 돌기부의 최적 높이와 개수, 갭의 간격에 대한 설계 및 해석을 수행함으로써 고출력화에 대한 타당성을 검토하였다.

2. 고출력화를 위한 설계 및 해석

Table 1에 나타낸 설계사양을 가지는 고출력 MR 브레이크를 제작하기 위해 Fig. 2에 나타낸 형상을 가지고 전자기장 해석을 수행하였다. Fig. 2는 MR 브레이크의 단면도를 전자기장 해석에 사용될 수 있도록 단순화 시킨 형상이다. MR 브레이크는 가운데 축을 중심으로 베어링, 오일실, 디스크 로터와 보빈 위의 코일로 구성되어 있다. MR 유체 투입구로 들어온 MR 유체는 로터와 스테이터의 공극 사이로 흐르고 중심부로 내려오다 오일실에 의해서 차단된다. Fig. 3은 MR 브레이크 2차 프로토타입의 2차원 단면도이다. 사용된 코일의 직경은 $\Phi 1.0\text{mm}$, 코일턴수는 400턴이며 외형은 320mm이다. 무게를 줄이기 위해 MR 브레이크의 두께를 얇게 하여 해석을 실시해보았으나, 그 결과 포화도가 높아져 토크값이 보다

접수일 : 2010년 6월 7일

박중호(책임저자), 서미영(발표자): 한국기계연구원
그린환경에너지기계연구본부

E-mail: jhpark@kimm.re.kr, Tel: 042-868-7607

이후승, 함영복, 윤소남: 한국기계연구원 그린환경에너지
기계연구본부

서응수 : (주)프로텍 기술연구소

빨리 포화상태에 도달한다는 것을 알 수 있었다. 이에 포화도를 1.5T에서 1.8T사이로 정의하여 해석을 수행하였고 그 안에서의 최적의 형상을 도출하였다. MR 유체는 미국 LORD사 제품의 MRF-132DG이며, MR 브레이크 공극에 가득 채웠을 때의 유체의 양은 약 155ml이다.

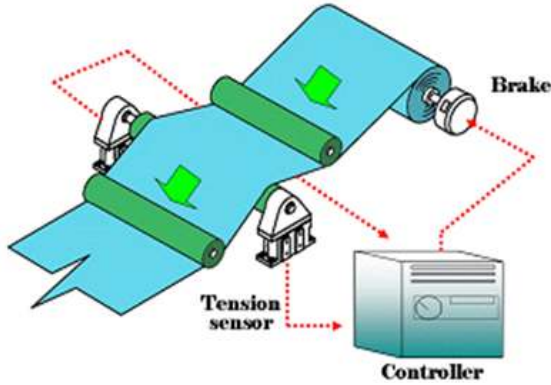


Fig. 1 Schematic of tension control system for converting machinery

Table 1 Design parameters of the MR brake

Maximum current	5A
Torque	200N·m/2A
Rotational speed	1000RPM
MR fluids	MRF-132DG

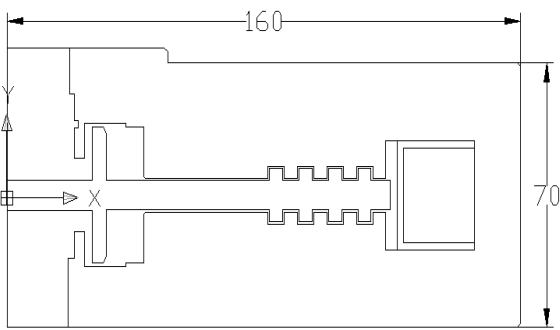


Fig. 2 Analysis model of the MR brake

본 연구에서 설계된 2차 프로토타입은 1차 프로토타입으로 설계된 MR 브레이크의 해석 및 실험 결과의 오차값을 고려하여 설계하였다. 1차 프로토타입으로 설계된 MR 브레이크의 해석 결과와 실험 결과에 대해 비교한 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 여기서 해석값과 실험값 사이에 약 45N·m의 오차가 존재함과 실험 결과가 목표사양에 도달하지 않음을 알 수 있다. 코일턴수의 부족함과 자기포화에 의한 원인이라고 생각된다.

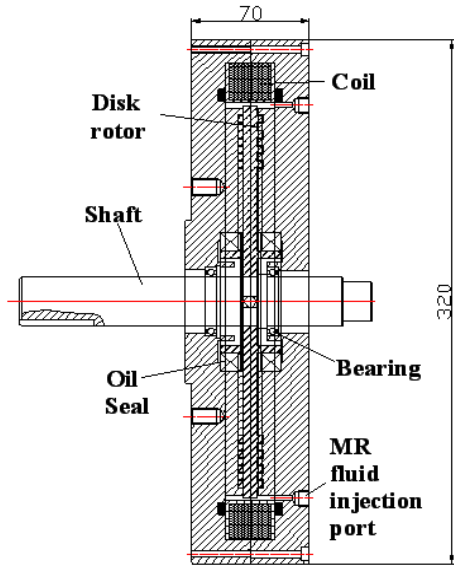


Fig. 3 Schematic of the secondary prototype of the MR brake

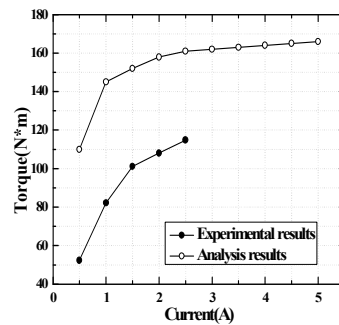


Fig. 4 Analysis and experimental results for the 1st prototype

또한, 돌기의 최적 높이와 개수를 찾기 위해 여러 경우로 해석을 실시하였다. Fig. 5는 돌기의 최적 개수를 찾기 위해 해석을 수행한 결과로, 4개 이후로는 자기장이 닿지 않아 토크값에 영향을 미치지 않았다. 돌기의 개수를 4개로 하여 돌기의 높이를 각기 다르게 한 뒤 해석을 수행한 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 여기서 돌기의 높이가 3.1mm인 경우가 토크값이 가장 크게 나왔다. 로터와 스테이터 사이의 갭은 0.6mm로 갭이 넓어지면 H값이 떨어져 토크값이 낮아졌고, 갭이 좁아지면 H값이 상승하나 포화상태에 이르러 토크값의 상승이 크지 않았다. 이에 대한 해석 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 많은 해석을 통한 결과, H값의 상승보다는 r값이 토크값에 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다. 여기서 r은 중심축에서 돌기까지의 거리이다. 이를 바탕으로 설계된 MR 브레이크의 축대칭 모델에 대해서 전자기장 해석을 수행한 결과의 일례를

Fig. 8에 나타낸다. 코일턴수는 400턴, 공극부의 갭은 0.6mm, 입력전류는 5A, 회전수는 1,000RPM으로 가정 하였을 때의 로터와 스테이터 및 전자석 부분의 자속선은 Fig. 8(a)에서 자속밀도 분포는 Fig. 8(b)에서 보여주고 있다. 자속밀도 분포를 보면 코일 주위에서 약간 자기포화가 일어나는 것을 알 수 있다. Fig. 8(c)는 돌기에서 얻어지는 자기력 값이다. 앞에서 언급한 바와 같이 갭 사이 간격이 멀어지면 H 값이 떨어진다는 것을 이 그래프에서 확인할 수 있다.

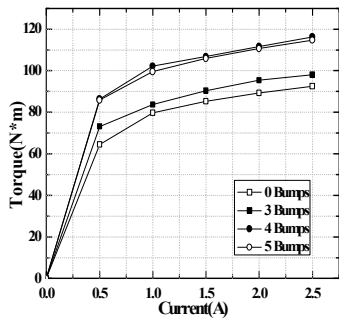


Fig. 5 Analysis results to the number of bumps

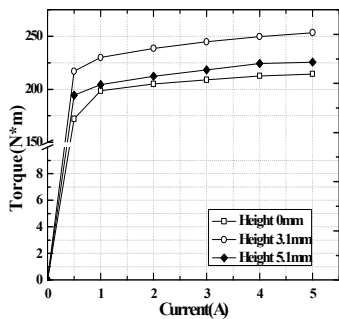


Fig. 6 Comparison results of different bump height

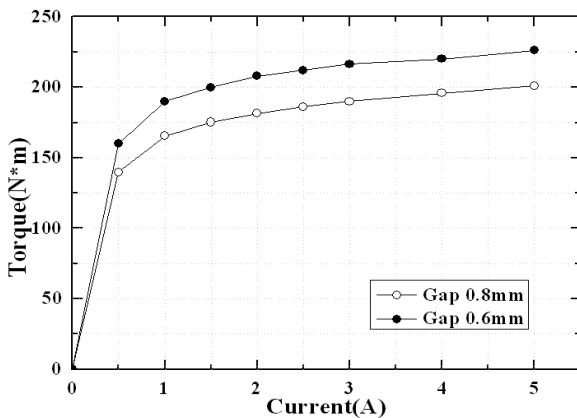


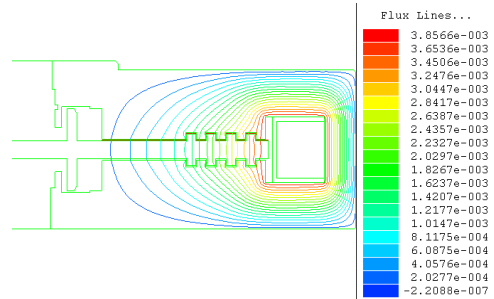
Fig. 7 Analysis results of different gap

Fig. 8(c)에서 H 값 사이사이 4,000A/m정도씩 값이 떨어지는 것을 확인할 수 있는데 이는 갭 모서리마다 간격이 멀어지면서 나타나는 현상이다. 또한, 전류값이 상승해도 포화상태에 이르러 H 값의 상승이 크지 않다는 것도 알 수 있다. Fig. 8(c)에서 얻어지는 H 값을 (1)식에 넣어 B 값을 구할 수 있다. 여기서 얻어지는 B 값을 (2)식에 넣어 τ 를 구할 수 있다. (3)식은 (2)식에서 얻어진 τ 를 이용해 토크값을 구하는 식이다. 여기서 η 는 자기장이 인가되지 않을 때의 점성계수이고, S 는 상대속도, $A=Lw$ 로써 면적을 뜻한다. 여기서 w 는 전단면의 폭이고, τ_y 는 자기장의 전단력이다.

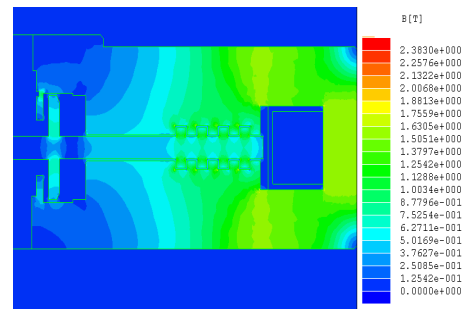
$$B = \mu H \tag{1}$$

$$\log \tau = 1.75 \times \log B + 5.11 \tag{2}$$

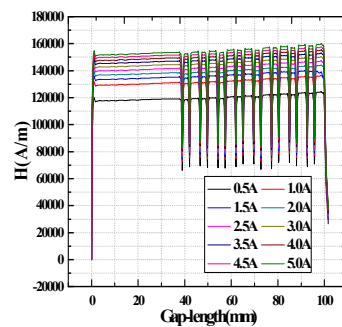
$$F = F_\eta + F_\tau = \frac{\eta SA}{g} + \tau_y A \tag{3}$$



(a) Magnetic flux line distribution



(b) Magnetic flux density



(c) Analysis of Distance vs. Magnetic force
Fig. 8 Electromagnetic field analysis results

3. MR 브레이크 제작 및 실험

MR 브레이크의 특성파악을 위한 실험장치를 Fig. 9에 나타낸다. 기본적인 구성은 MR 브레이크, 토크미터, AC 서보모터, 컨트롤러로 되어 있으며 최고 3000RPM까지 회전시킬 수 있다. MR 브레이크에의 입력은 전용 드라이버에 의해서 5A까지 공급이 되어지고, 토크미터는 50kgf·m의 용량을 사용하였다.

Fig. 10은 위의 해석결과를 토대로 설계되어 제작된 MR 브레이크의 2차 시제품이다. 사용된 코일의 직경은 $\Phi 1.0\text{mm}$, 코일턴수는 450턴이다. 제작된 MR 브레이크에 MR 유체를 100ml 충전하여 전류에 따른 특성값을 측정하였다. Fig. 11은 해석을 통해 (3) 식에서 얻어진 토크값과 실험을 통해 얻어진 토크값을 비교한 그래프이다. 해석값과 실험값 사이에 어느

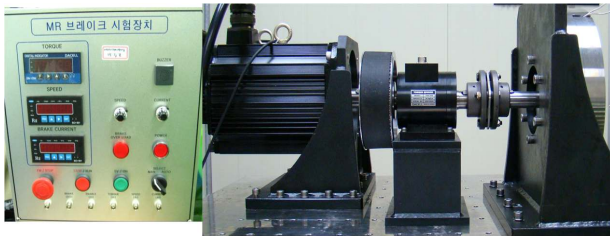


Fig. 9 Experimental apparatus for the MR brake

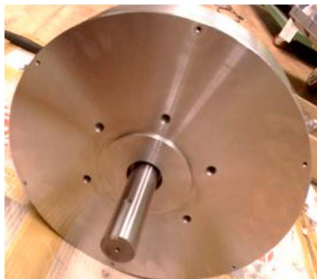


Fig. 10 Fabricated MR brake

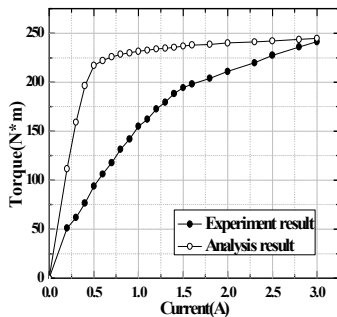


Fig. 11 Analysis and experimental results for the 2nd prototype

정도 오차가 존재하지만 실험값이 선형적으로 상승하여 3A에서는 비슷한 값이 나오는 것을 확인 할 수 있다. 또한, 해석값은 0.5A 이상에서 포화가 시작되지만 실험값은 1.8A에서 서서히 포화상태가 시작되고 1.5A에서 목표 토크에 도달한다는 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 기존의 파우더 브레이크가 가지고 있는 문제점을 극복하기 위해서 개발된 MR 브레이크의 고출력화를 목적으로, 1차 시제품의 문제점을 보완하고 목표한 설계 변수에 맞춰 2차 프로토타입을 설계 및 제작하였다. 이를 바탕으로 향후, 2차 프로토타입의 정특성 및 동특성 실험을 통해 MR 브레이크의 특성 파악 후, 중공형 타입의 개발을 수행하고자 한다.

후기

본 연구는 지식경제부 2010년 기관연계형 개발사업인 “200N·m급 중공형 MR 브레이크 기술 개발” 과제의 일환으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- 1) M.R. Jolly, J.W. Bender, and J. David Carlson, "Properties and applications of commercial magnetorheological fluids", technical report of LORD Co., USA.
- 2) J.-H. Park, J.-G. Kim, D.-W. Yun, S.-Y. Ham, J.-H. Noh, and J.-S. Yoo, "A Study on Dynamic Characteristics of High-Torque MR Brake", Proceedings of KSPE autumn conference, pp.101~102, 2007.
- 3) D.-W. Youn, J.-H. Park, S.-K. Chol, S.-N. Yun, and S.-Y. Ham, 2006, "Electromagnetic Analysis and design of rotary MR brake", Proceeding of KSPSE autumn conference, pp.146-151, 2006.
- 4) M.S. Kim, S.K. Yun, and S.C. Kang, "Safe Design and Vibration Control of a Manipulator with Passive Compliant Joints", Proceedings of 2nd International Conference on Autonomous Robots and Agents, NewZealand, pp.180-185, 2004.