

웹 장력제어용 MR 브레이크 고출력화에 관한 연구

A Study on High-torque MR Brake for Web Tension Control

*#박중호¹, 서미영¹, 이후승¹, 윤동원², 함영복¹, 서응수³

*J.-H. Park(jhpark@kimm.re.kr)¹, M.-Y. Seo¹, H.-S. Lee¹, D.-W. Yun², Y.-B. Ham¹, E.-S. Seo³

¹한국기계연구원 그린환경에너지기계연구본부, ²한국기계연구원 나노융합생산시스템연구본부, ³(주)프로템

Key words : MR(Magneto-rheological) Fluid, Brake, Tension Control, Converting Machinery, Electromagnetic Field

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 고속 응답에 고정밀도를 추종하기 위해서는 인가 자기장에 의해 수 ms 단위로 점성변화를 제어할 수 있는 MR(Magneto-rheological) 유체를 이용한 브레이크 개발을 필요로 한다. MR 유체는 유체주위에 작용하는 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 갭의 간격에 대한 설계 및 해석을 수행함으로써 그 타당성을 검토하였다.

2. MR 브레이크 설계 및 해석

Table 1에 나타낸 설계사양을 가지는 고출력 MR 브레이크를 제작하기 위해 Fig. 2에 나타낸 바와 같은 시제품에 대해서 전자기장 해석을 수행하였다. 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. 2는 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 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.

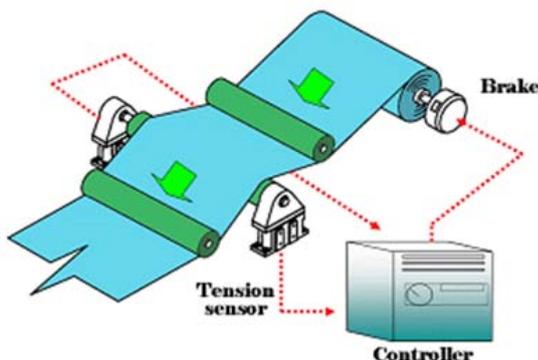


Fig. 1 Tension control system for converting machinery

Table 1 Design parameters of the MR brake

Maximum Applied current	5A
Maximum Torque	200N·m
Outer diameter	320mm
Maximum Rotational Speed	1000RPM
MR fluids	MRF-132

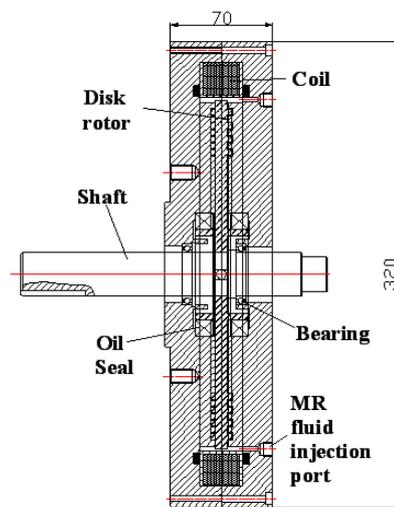


Fig. 2 Schematic of the secondary prototype of the MR brake

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. 3에 나타내었다. 여기서 해석값과 실험값 사이에 약 45N·m의 오차가 존재함과 실험 결과가 목표사양에 도달하지 않음을 알 수 있다. 코일턴수의 부족함과 자기포화에 의한 원인이라고 생각된다. 또한, 돌기의 최적 높이를 찾기 위해 여러 높이로 해석을 실시한 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 여기서 돌기의 높이가 3.1mm인 경우가 토크값이 가장 크게 나왔다. 돌기는 자기장이 닿는 부분만 생성하여 4개의 돌기를 만들었다. 더 많은 돌기를 만들어 보았으나 4개 이후로는 자기장이 닿지 않아 토크값에 영향을 미치지 않았다. 로터와 스테이터 사이의 갭은 0.6mm로 갭이 넓어지면 H값이 떨어져 토크값이 낮아졌고, 갭이 좁아지면 H값이 상승하나 포화상태에 이르러 토크값의 상승이 크지 않았다. 많은 해석을 통한 결과, H값의 상승보다는 r값이 토크값에 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다. 여기서 r은 중심축에서 돌기까지의 거리이다.

$$B = \mu H \quad (1)$$

$$\log \tau = 1.75 \times \log B + 5.11 \quad (2)$$

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

이를 바탕으로 설계된 MR 브레이크의 축대칭 모델에 대해서 전자기장 해석을 수행한 결과의 일례를 Fig. 5에 나타낸다. 코일턴수는 400턴, 공극부의 갭은 0.6mm, 입력전류는 5A, 회전수는

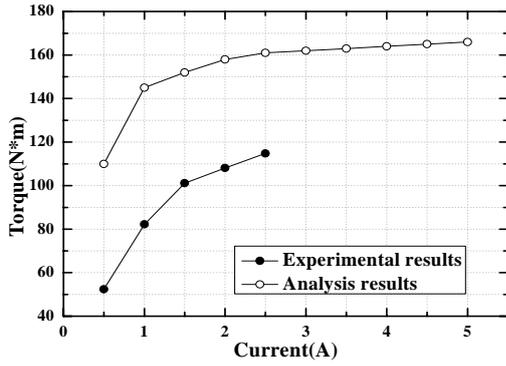


Fig. 3 Analysis and experimental results for the 1st prototype

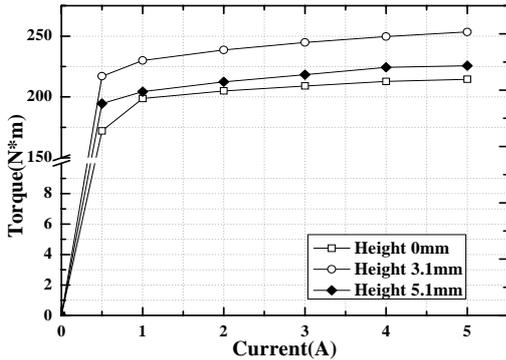
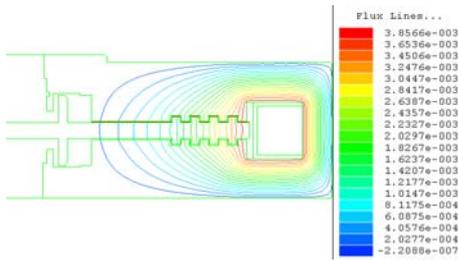
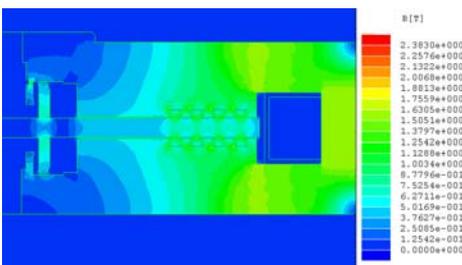


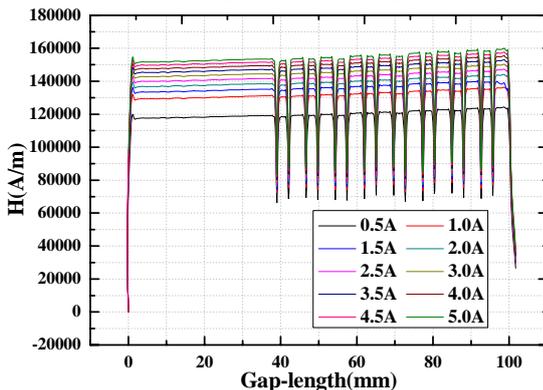
Fig. 4 Comparison of analysis results of bump height



(a) Magnetic fluxline distribution



(b) Magnetic flux density



(c) Analysis of Distance vs. Magnetic force
Fig. 5 Electromagnetic field analysis results

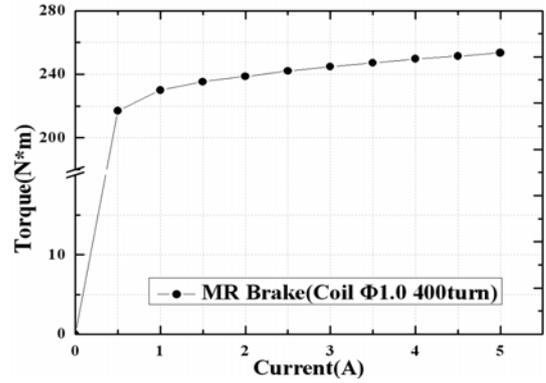


Fig. 6 Analysis results of current vs. torque

1,000RPM으로 가정하였을 때의 로터와 스테이터 및 전자석 부분의 자속선은 Fig. 5(a)에서 자속밀도 분포는 Fig. 5(b)에서 보여주고 있다. 자속밀도 분포를 보면 코일 주위에서 약간 자기포화가 일어나는 것을 알 수 있다. Fig. 5(c)는 돌기에서 얻어지는 자기력 값이다. 앞에서 이야기한 바와 같이 갭 사이 간격이 멀어지면 H 값이 떨어진다는 것을 이 그래프에서 확인할 수 있다. H 값 사이사이 4,000A/m 정도씩 값이 떨어지는 것을 확인할 수 있는데 갭 모서리마다 간격이 멀어지면서 나타나는 현상이다. 또한, 전류값이 상승해도 포화상태에 이르러 H 값의 상승이 크지 않다는 것도 알 수 있다. Fig. 5(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 n 는 자기장이 인가되지 않을 때의 점성계수이고, S 는 상대속도, $A=Lw$ 로써 면적을 뜻한다. 여기서 w 는 전단면의 폭이고, τ_y 는 자기장의 전단력이다.

Fig. 6은 (2)식을 이용해 구한 2차 프로토타입의 토크값이다. 1.5A 이상에서 서서히 포화가 되지만 5A에서 우리가 목표한 값에 도달한다는 것을 알 수 있다. 해석값과 실험값과의 오차를 가감한다면 2차 시제품은 5A에서 200N-m의 토크값을 얻는다.

3. 결론

본 연구에서는 기존의 파우더 브레이크가 가지고 있는 문제점을 극복하기 위해서 개발된 MR 브레이크의 고효율화를 목적으로, 1차 시제품의 문제점을 보완하고 목표한 설계 변수에 맞춰 2차 프로토타입을 설계 및 해석하였다. 이를 바탕으로 향후, 2차 프로토타입을 시제작하고 정특성 및 동특성 실험을 통하여 MR 브레이크의 성능을 확인하고자 한다.

후기

본 연구는 지식경제부 부품소재전문기업 기술지원사업인 “컨버팅 장비 고장력 제어용 MR 브레이크 설계기술 지원” 과제의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. M.R. Jolly, J.W. Bender, and J. David Carlson, "Properties and applications of commercial magnetorheological fluid", 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, 101~102, 2007.
3. D.-W. Youn, J.-H. Park, S.-K. Choi, S.-N. Yun, and S.-Y. Ham, "Electromagnetic Analysis and design of rotary MR brake", Proceedings of KSPSE autumn conference, 146~151, 2006.