

표면조도 향상을 위한 MR 폴리싱가공 시스템 연구

A Study of MR Polishing Technology System for Enhancing Surface Roughness

*#이재설¹, 김병인¹, 윤동원¹, 이성휘¹, 손영수¹, 신영재¹, 홍준희²

* #J. S. Lee¹(jaeseol@kimm.re.kr), B. I. Kim¹, D.W.Young¹, S. H. Lee¹, Y. S. Son¹, Y. J. Shin¹, J. H. Hong²

¹한국기계연구원 지능형 생산시스템 연구본부, ²충남대학교 기계공학과

Key words : Magneto rheological fluid, Magnetic abrasive finishing(MAF), Surface roughness

1. 서론

최근 첨단과학의 공업기술이 빠른 발전을 통해 다양한 가공기술의 향상과 더불어 광학, 금형산업, IT, 의학등 여러 산업 분야에 있어서 신소재의 개발과 함께 광학소자 및 부품의 가공기술에 대한 관심이 매우 고조되고 있다. 또한 초정밀 형상 부품의 수요도 급속하게 증가하고 있다. 그러나 이러한 미세 부품 제작기술의 난이도가 매우 높아 해결하기가 쉽지 않다. 그 이유로는 기계 가공시에 일반적인 기술로는 연마하기 힘든 부위가 많기 때문이다. [1] 한 예로 곡관부, 관내부, 가공물 사이에 있는 틈새부 등이 그 예이다. [2] 이처럼 종래의 폴리싱 작업에 있어서 생긴 문제점으로 나타난 틈새부위 또는 높은 표면조도 등에 개선을 위한 방법으로 MR유체를 이용한 자기연마 장치 가 있다. 자기연마란 자성재료와 연마입자가 구성요소인 자성연마재를 사용하여, 자력선에 따라 선형으로 배열한 자성연마재가 자력에 의해 공작물을 압착하며 연마하는 가공법이다. [3] 이와 같이 자기연마법은 종래의 연마공구를 사용하는 가공법과는 상이하게 자성연마재가 공작물의 요철을 압착하면서 가공하므로 3차원적 자유곡면이나 원통공작물, 파이프내관 등의 복잡한 형상의 공작물도 연마할 수 있다. [4]

따라서, 본 연구에서는 이러한 자기연마를 이용하여 평면에서의 연마특성을 평가하고 또한 회전체의 표면을 측정하여 가공 상태 여부를 확인하고자 한다. 측정을 위한 실험조건으로는 비자성 연마재의 첨가율에 따른 표면상태, RPM, 전류세기 인자의 변화, 시간에 따른 변화, 가공물의 재질등이 있다. 이것을 토대로 자기연마 가공의 특성을 평가하고자 한다.

2. 자기 연마 System설계를 위한 개념도

MR유체의 운동 모드는 Fig.1과 같이 밸브 (Valve)mode, 전단 (Shear) mode, 압출 (Squeeze) mode로 크게 3가지로 분류된다. 각각의 적용 예로 Valve Mode는 선형 댐퍼, 엔진 마운트, 충격 흡수장치 등에 사용되며 Shear mode는 브레이크, 클러치, 척킹 기구 등에 적용된다. 그리고 Squeeze mode엔 작동 범위에 제한을 받기 때문에 회전체나 미소 변위로 운동하는 장치의 변위를 제어하는데 주로 이용된다. [5]

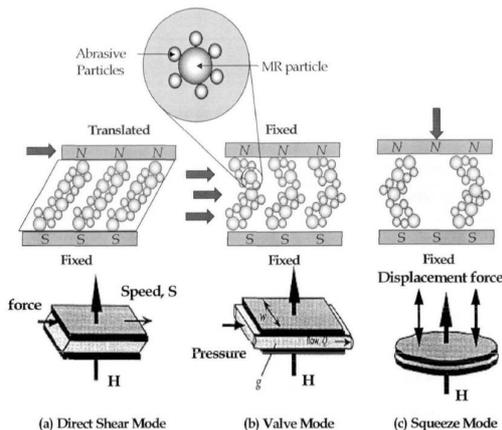


Fig.1 Basic operation modes for MR fluids

자기유동연마(MRF; Magneto-Rheological Finishing)는 자성유체에 자기장을 가하면 가소성고체로 바뀌고, 자기장의 세기와 자성유체의 점도 등을 조절하여 연마를 제어 할 수 있는 것이 특징이다. 이러한 조건을 위해 Fig.2와 같이 연마재를 첨가한 MR유체를 구속된 공간에 채운 후 자기장을 가하게 되면 불규칙하게 흩어져 있던 자성입자들이 서로 규칙적인 사슬구조의 형태로 정렬이 된다. 따라서 액체에서 고체 상태로 '상 변화' 하는 것처럼 보이게 되는 것이다. 그러나, 실제로 상변화를 하는 것은 아닌, 미세입자들이 외부자기장에 의해 정렬이 된 액체가 전단응력으로 바뀌는 것이다. 이렇게 인가된 전단응력은 외부 자기장의 세기에 의해 제어가 가능하므로, 능동적인 액체의 기계적 물성을 제어할 수 있어, MR 유체를 이용한 브레이크, 클러치, 표면가공기 등의 시스템을 제작할 수 있는 것이다.

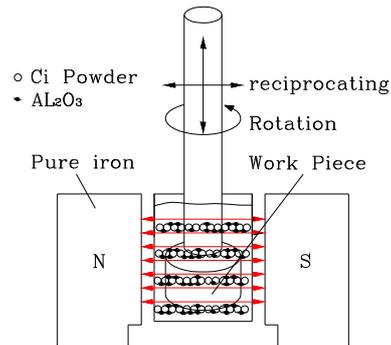


Fig.2 Chain of MR particles

Fig.2는 MR 유체를 이용한 표면가공기의 개념도를 보여주고 있다. MR 유체가 담긴 용기에 피가공물을 넣고, 외부에 자기장을 인가한 상태에서 피가공물에 운동을 가하면, 피가공물의 표면과 연마입자간의 마찰로 인해 표면가공이 일어나는 것이다. 특히, 범용 밀링 머신에 적용 가능한 형태로 설계하여 범용성을 증가시키고자 한다. 피가공물의 연마가공성을 높이기 위해 프레스턴 (Preston)의 식(1)을 도입한다.

$$R = kPIU \quad (1)$$

재료 제거율R은 가압력 P와 공작물과 패드사이 상대속도U에 의해 제어된다. 여기서 프레스턴 상수 k는 연마재, 가공물, 패드 등에 의해 정해지는 상수이다.

3. 시스템 설계 및 해석

MR 유체를 이용한 표면 폴리싱 가공기를 설계하기 위해서는, MR 유체에 대한 전자기장 발생기의 성능에 대한 해석을 통하여 시스템을 설계하여야 한다. 본 시스템에 사용될 액츄에이터의 설계를 위해서는 FEM을 이용한 전자기 해석을 수행하기로 하였다. Fig. 3에서는 C-Core 형태의 전자기 액츄에이터의 형상을 보여주고 있다. 또한, 각 부분의 재질에 대한 정보가 table. 1에 나와 있다. 전자기적 성질의 성능을 향상시키기 위해서 코어의 재질은 순철을 사용하기로 하였다. MR 유체는 Lord사의 MRF 122-AD라 가정하고 해석을 수행하였다.

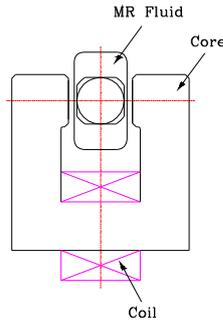
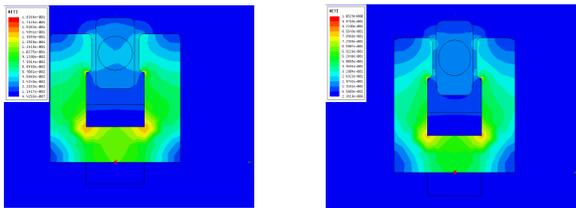


Fig.3 Schematic of MR Actuator

Table.1 Materials of Parts

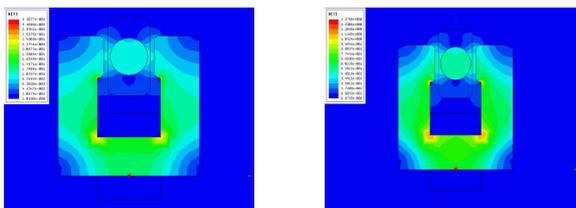
Part	Material
Core	Steel 1008
Coil	Copper
MRF	MDF 122-2AD

코일은 동선을 사용하였으며, 코일의 턴수는 stacking factor 를 0.6이라 가정하고, 510턴으로 정하였다. 피가공물이 자성체 일 때와 비자성체일때에 대하여 해석을 수행하였다. 그 해석결과 Fig. 4와 Fig. 5에 나와 있다. 인가된 전류가 5A 일 때 피가공물이 비자성체인 경우, 공극에서 자속밀도는 약 0.3T로 나타났으며, 피가공물이 자성체인 경우 공극 자속밀도는 약 0.5T로 해석 결과 값이 나타남을 알 수 있었다.



(a) 1A 인가시 (b) 5A 인가시

Fig. 4 피가공물이 비자성체일 때



(a) 1A 인가시 (b) 5A 인가시

Fig.5 피가공물이 자성체일 때

이와 같은 전자장 해석을 토대로, 실제 MR 폴리싱 가공기를 설계하였으며, Fig. 6에 설계된 MR 폴리싱 가공기의 형상을 보여주고 있다.

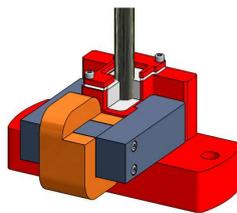


Fig.6 설계된 MR 폴리싱 가공기

4. 실험조건 및 결과

제작된 MR 폴리싱 가공기를 이용하기 위해 실제 시편을 가공하여 연마실험을 수행해 보았다. 연마가공시에는 Water Based MR 유체가 필요하므로, CI 파우더를 이용하여 MR 유체를 만들어 사용하였다. MRF의 입자는 자기장에 민감한 Carbyony Iron, (CI)

분말이다. 거의 순수한 철이라 불수 있으며 수용성,비수용성으로서, 운반유체로 자기장에 활용된다. table.2와 같이 연마에 이용되는 CI Powder는 50%자성입자를 함유하며 운반액으로서 탈이온수 Deionized, (DI)를 45vol%함유하여 부식을 늦추기 위한 방법으로 함유하였고, 재료 제거율을 높이기 위해 비자성 연마제인 알루미나 입자(Al₂O₃ Powder)는 5% 정도의 양을 혼합하여 함유 하였다.

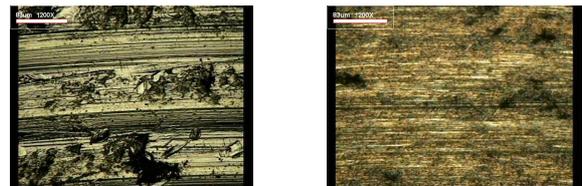
Table.2 Composition Properties of the Fluids

CI powder	DI ater	Al ₂ O ₃ powder
50%	45%	5%

그 밖에 실험장치에 들어갈 조건으로는 공작기계(NC밀링), Power supply, work piece, 시스템 장치, Tool등이 기본으로 구성된다. 실험조건으로는 table.3에 나타난 것과 같다.

Table.3 Specification of MR Polishing System

Magnetic Abrasive	CI powder+DI powder+Al ₂ O ₃ ,
Revolution Speed	500 rpm
Work Piece	Al6061-T6
Current	3A
Working Gap	0.5~1.5mm(Z방향)
Time	3min



(a) 가공전 (b) 가공후

Fig.7 실험결과

Fig. 7에 폴리싱 연마 전후의 시편 표면의 형상을 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이, 제작된 MR 폴리싱 가공기를 통하여 가공한 후 표면조도가 향상 되었음을 알 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 MR 유체의 특성을 적용하여 표면 폴리싱 가공기의 해석, 제작, 실험 등을 수행하였다. 해석 및 실험을 통하여 개발된 가공기의 성능을 검증할 수 있었다. 또한, 자기유동연마를 이용하여 다양한 방법의 실험조건으로(전류, 시편의 간격, 시간 등) 여러조건에 따른 연마성능에 대하여 좋은 표면조도를 얻기위한 가공방법과 데이터를 목적으로 연구를 수행할것이다.

참고문헌

- Shin, Y. J., Kim, D. W., Lee, E. S., Kim, K. W., "The Development of Polishing System a Magnetorheological Fluids", *Journal of Korea Society for Precision Engineering*, Vol. 21, No. 7, July 2004.
- 여우석, 박원규, 김윤택, 최환, 이종찬, 정선환, '자기연마를 이용한 Al평판 연마의 특성', 한국정밀공학회 춘계학술대회, 03F251, 2003
- Jung, U.S., Cho, J.R., Yang, S.C., Jung, Y.C., "The Influence on Tool Performance of Cutting Tool's Roughness Improvement by Magnetic Fluid Polishing Method", *Journal of Korea Society for Precision Engineering*, 2006.
- 조종래, 박성률, 양순철, 정윤교, "자기연마기술을 이용한 고속 절삭공구 성능향상에 관한 연구", 한국기계가공학회 춘계학술대회, 135-138, 2004.
- Lee, J. W., Kim, D. W., Shin, Y. J., Jang, H. S., Jo, M. W., "A study on the Polishing Process Characteristic of Rused silica glass Using Magnetorheological Fluid", *Transaction of the Korea Society of Machine Too Engineers*, PP.39-44. 2007.