

## 자기유변유체 연마공정을 응용한 미세부품의 형상가공

김용재\*, 민병권, 이상조(연세대학교 기계공학부)  
석종원(중앙대학교 기계공학부)

### Farbrication of Repeated 3D Shapes using Magnetorheological Fluid Polishing

Y. J. Kim\* B.-K. Min, S. J. Lee (School of Mechanical Eng. Yonsei Univ.),  
J. Seok (School of Mechanical Eng. Chung-Ang Univ.)

#### ABSTRACT

Due to the increase of the need for reliable high density information storage devices, the demand for precise machining of the slider in HDD is rapidly growing. The present fabrication process of slider bears some serious problems such as low yield ratio in mass production, which is mainly caused by inefficient machining processes in shaping camber and crown on the slider. In order to increase slider yield ratio in HDD, a new systematic machining process is proposed and developed in this work. This new machining process includes the use of magnetorheological (MR) fluid, a smart polishing material generally used for ultra-fine surface finishing of micro structures. It is shown that the process proposed in this work enables to make camber and crown pattern in the scale of few tens of nanometers. Experiment results shows that the MR polishing can be also used for shaping process of micro structures.

**Key Words** : magneto-rheological fluid polishing(자기유변유체연마), slider(슬라이더)

#### 1. 서론

##### 1.1 연구배경

높은 신뢰성이 요구되는 초소형 정보저장장치의 수요가 증가함에 따라 이러한 정보저장장치 내부의 미세부품의 제조 및 가공기술에 대해서도 많은 연구가 수행되고 있다. 본 연구는 대표적인 정보저장장치인 하드디스크의 미세부품 중 슬라이더의 형상가공에 새로운 기법을 도입하여 수율과 가공속도를 높이는 것을 목표로 한다.

하드디스크내의 슬라이더는 헤드와 디스크 간의 부상 높이를 최소화함과 동시에 헤드가 안정적으로 부상할 수 있게 하는 역할을 한다. 디스크 쪽의 슬라이더 표면은 부상효과를 증대하기 위해 반경방향과 원주방향으로 각각 캠버(camber)와 크라운(crown)이라고 부르는 3 차원 곡면을 형성시키게 된다.<sup>1,2</sup> 한편 슬라이더의 전체적인 크기는 점점 소형화 되고 있어 최근 개발되는 슬라이더는 부상효과

를 증대하기 위한 캠버와 크라운의 가공 치수로 나노미터급의 정밀도가 요구되고 있다. 이러한 작은 피처(feature)를 가공하기 위해서는 나노미터 규모의 깊이의 부드러운 곡선 가공이 필요하다. 기존의 슬라이더의 형상가공은 주로 수작업에 의존하는 랩핑(lapping)공정을 이용하고 있으나 이러한 생산방식은 주로 작업자의 경험에 상당부분 의존하기 때문에 수율이 낮고 대량생산이 힘들다는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 캠버 및 크라운의 형상가공에 랩핑 방식을 대체하기 위해 비구면 렌즈 및 미세체널의 연마공정 등에 많이 사용되는 자기유변유체(magnetorheological fluid) 연마<sup>3</sup>를 응용하고자 한다.

##### 1.2 연구의 내용 및 목적

자기유변유체연마는 연마입자가 혼합된 자기유변유체에 자기장을 전달하여 자기장 내에서 자기유변유체의 항복응력이 증가하고 부력에 의해서 연

마재가 재료에 도달하는 성질을 이용하여 임의의 곡면을 연마하는 방법으로, 가공물에 전달되는 힘이 다른 가공법에 비해 상대적으로 작아 시편 표면의 손상과 잔류응력이 최소화되기 때문에 미세부품의 연마에 적용성이 높다. 일반적으로 표면 연마는 표면의 형상은 최대한 유지하면서 표면 거칠기를 개선하는 것을 그 목적으로 하지만, 다소간의 표면형상의 변화는 피할 수가 없는데, 본 연구에서는 이를 역으로 이용하여 미세한 표면형상의 변화를 나노미터급의 가공에 이용한다.

## 2. 슬라이더 형상 및 가공공정

### 2.1 슬라이더 형상

슬라이더 형상 및 치수는 Fig.1 에 나타내었다. 그림에서 보는바와 같이 실제 슬라이더 하부형상은 캠버형상과 크라운형상으로 이루어져 있다. 캠버부와 크라운부의 높이는 슬라이더의 디자인에 따라 다르나 최소 수 나노미터이다.

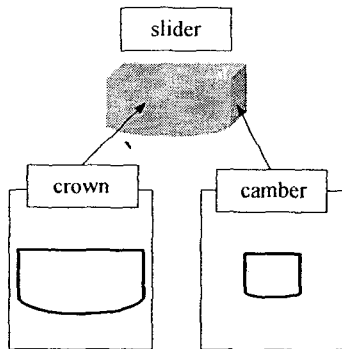


Fig. 1 Schematic of slider shape

### 2.2 슬라이더 가공공정

Fig.2 는 자기유변유체를 이용하여 시편을 가공하는 과정을 보여주고 있다. 그림에서 보는바와 같이, 슬라이더 형상의 양 모서리 부분을 곡면형상으로 가공하기 위해서 초기에는 스핀들을 정방향으로 회전시키고, 후에는 역방향으로 회전하였다. 가공 시편인 실리콘 웨이퍼도 수평운동을 시켜, 가공물의 모서리부분에서의 가공효과를 극대화시켰다.

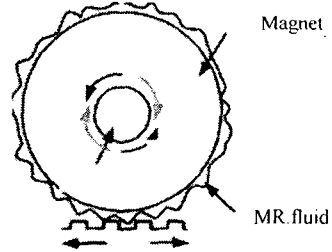
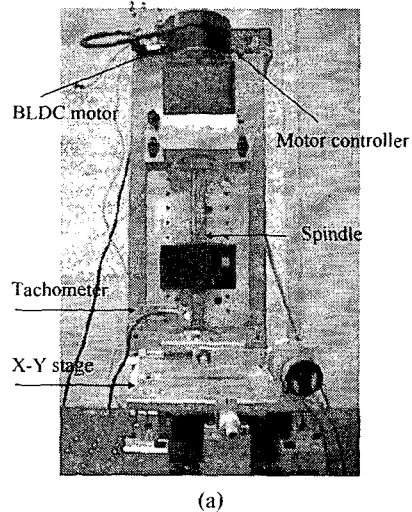


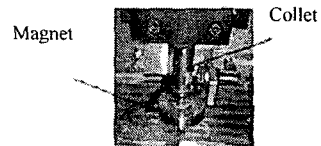
Fig. 2 Schematic of the machining process with MR fluid

## 3. 실험장치 및 실험조건

### 3.1 실험장치



(a)



(b)



(c)

Fig. 3 Photographs of MRF system (a) structure of machine, (b) magnetic tool, (c) drawing of magnetic tool

Fig.3 은 본 연구에서 개발된 가공장치에 대한 사진이다. 가공 스피들들에 일정한 속도를 유지시키기 위하여 모터 및 제어기(motor and controller)와, X-Y 스테이지와 Z 축 스피들들을 이송하기 위한 CNC 제어기로 구성되어 있다. 한편 MR 유체에 자력을 인가하기 위한 영구자석은 폴렛을 이용하여 스피들과 고정시키었다.

### 3.2 실험조건

가공실험조건을 Table 1에 정리하였다. 표에서와 같이 가공조건에는 스피들의 회전속도, 가공물과 MR 유체와의 간극, 그리고 연마재의 크기 등이 있으나, 이번 실험에서는 간극과 연마재의 크기와 MR 유체와의 비율은 고정하였으며, 스피들의 속도만을 변화시킴으로써 최적의 가공조건을 찾아내었다. 또한 그 외의 기초적인 가공조건들은 MR 유체를 이용한 미세 채널구조물의 표면연마에 대한 연구결과<sup>4</sup>와 실리콘 웨이퍼의 일반적인 폴리싱 조건을 참조하여 적절한 가공조건을 선정하였다.

Table 1 Machining conditions

Parameters	Value
Spindle speed (rpm)	300
Gap (mm)	2
Workpiece material	Si
Abrasive material	CeO <sub>2</sub>
Abrasive size (㎛)	1

## 4. 실험 결과 및 분석

### 4.1 기초실험

기존의 슬라이더의 캠버 및 크라운의 형상을 가공함에 있어, 가공양상을 파악하기 위해서 기초 실험을 우선 실시하였다. Fig. 4는 가공시편의 모습이다. 그림에서 가공시편은 실리콘 웨이퍼(100)를 사용하였으며, 모든 시편의 크기는 10mm X 10mm으로 동일하였다. 여러 위치에서의 가공양상을 파악하고, 동시에 다수의 시편을 가공하기 위한 조건을 찾기 위하여 4개의 실리콘 웨이퍼를 일정간격(10mm)으로 부착하였다. 이를 대상으로 하여 자기유변유체를 이용한 가공을 실시하였으며, 이러한 결과를비접촉 3차원미세형상측정기(E-1000,Nanosystems)를이용하여 측정하였다.

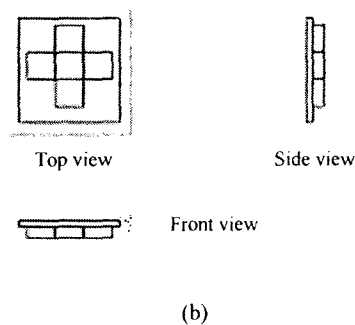
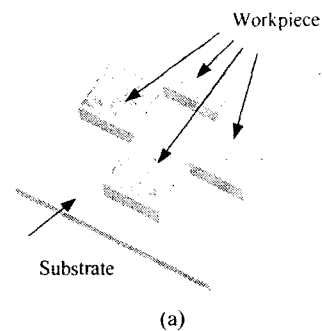


Fig. 4 Drawing of workpiece  
(a) schematic of experiment concept  
(b) projection of workpiece

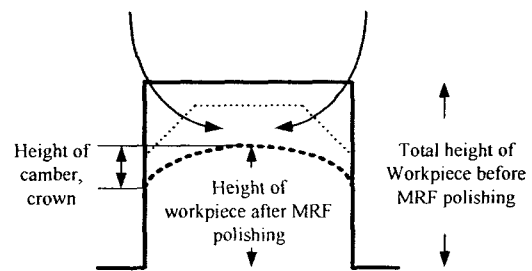


Fig. 5 Concept of the proposed polishing process

Fig.5는 가공중 진행됨에 따라 가공 시편의 높이가 점차 줄어드는 과정을 도식화한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 직육면체 형상의 실리콘 웨이퍼 시편을 가공하면, 가공 시편의 높이는 점차 줄어들고 동시에, 모서리 부분부터 가공되기 시작하면서, 점차 모서리 부분이 곡면형상이 형성되게 된다. 이러한 곡면 형상이 캠버와 크라운의 형상이 된다.

Fig.6은 실리콘 웨이퍼 시편 4개를 동시에 가공하였을 때 다른 위치에 부착된 두 개의 가공양상을 측정된 결과이다.

그림에서 보는 바와 같이 자기유변유체가공에 의해 위치에 따른 표면형상의 변화가 나타나며, 중앙에 위치한 시편은 주로 중앙부분이 가공되어지고 좌우에 부착되어진 가공물은 주로 한쪽부분만이 가공되어진다. 이로써 자기유변유체를 이용하여 곡면가공이 가능함을 알 수 있다.

## 5. 결론

기존의 연마공정은 표면의 형상을 최대한 유지하면서 표면 거칠기를 개선하는 것을 그 목적으로 한다. 그러나 다소간의 표면형상의 변화는 불가피하기에 본 연구에서는 이러한 미세한 표면형상의 변화를 역으로 이용함으로써, 기존의 연마공정을 나노미터 급의 형상가공에 응용하였다. 자기유변유체를 이용한 가공은 하드디스크내의 슬라이더 표면의 캠버 및 크라운 형상가공에 적용하였다. 본 연구에서 제시된 방법은 3 차원 미세부품의 가공에 적용시킴으로써, 기존의 랩핑공정에 비해 높은 수율과 대량생산의 가능성을 제시하였다.

## 참고문헌

1. Sookyung Kim., *Design and Fabrication Technology of Optical Flying Head for First Surface MO Recording* IEEE. 2002
2. Hans H. Gatzert *rigid disk slider micromachining challenges to meet microtribology needs?* Tribology International. 2000
3. T. Mori., K. Hirota and Y. Kawashima, "Clarification of magnetic abrasive finishing mechanism", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 143-144, pp. 682-686, 2003
4. 김옥배, 민병권, 이상조, "MR 유체를 이용한 미세 채널구조물의 표면연마", *한국정밀공학회 03 춘계학술대회 논문집* 2003.06 pp.1873-1876

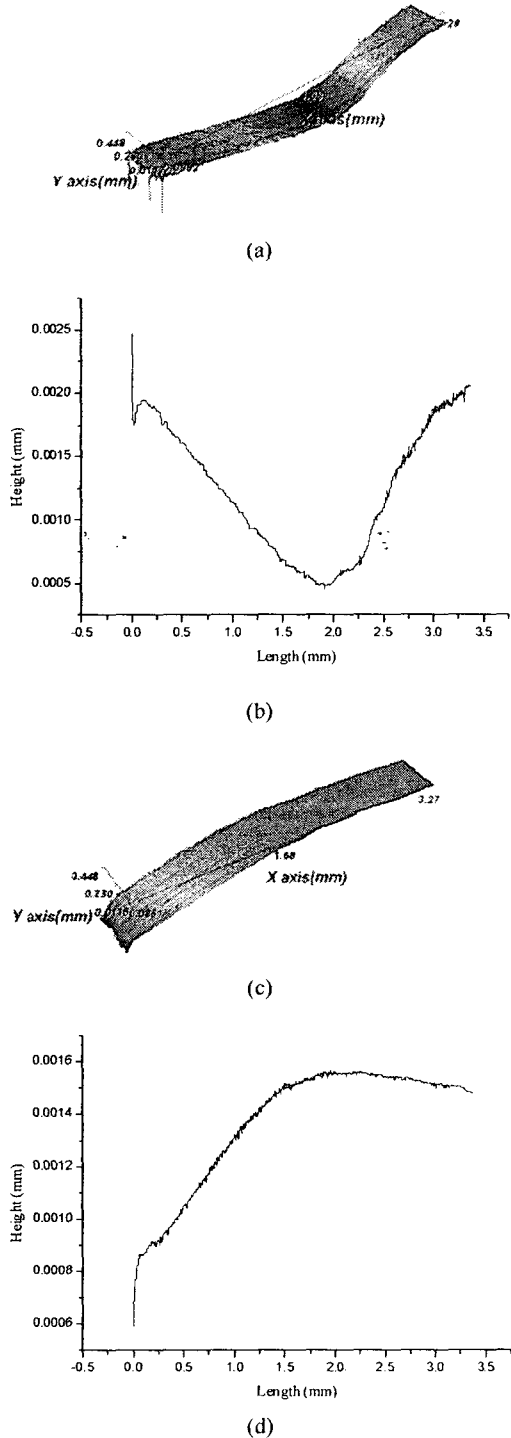


Fig. 6 After polishing surface profile

(a) 3D surface profile of top, (b) 2D data file of top  
(c) 3D surface profile of right, (d) 2D data file of right