

미세 요철 표면의 마찰마멸특성에 관한 연구

Study on the tribological Properties of Micro-undulated Surface

차금환(연세대학교 대학원) · 김대은* (연세대학교 기계공학과)

Kum-Hwan Cha(Graduated school of Yonsei Univ.), Dae-Eun Kim(Yonsei Univ.)

Abstract

In recent years, the micro-tribological behavior of silicon has been the topic of much interest. performance of thin film under light load is important for potential applications in MEMS. In this work under light load and various humidity, the tribological behavior of undulated surface with various width and shape was investigated.

The results show that undulated surface of linear type had good tribological properties abrasive wear occur depending on the sliding condition. Also the effect of humidity on friction and wear was not important if exist undulation. Finally, undulations on HDD were found to be effective in trapping wear particles.

Key Words : Micro-tribology, Hard disk drive, Micro-Groove, Undulated surface humidity, surface damage

I 서 론

동적 기계요소에서 흔히 경험할 수 있듯이 물체가 서로 접촉하면서 이동할 때 발생하는 소음, 열, 진동 등의 문제는 일상생활은 물론 산업현장에서 많은 문제들을 야기하고 있으므로 이를 해결하기 위한 여러 노력과 연구들이 꾸준히 진행되어져 오고 있다[1-2]. 마찰마멸을 감소시키기 위한 여러 방법 중 Suh와 Sin에 의해 제안된 요철표면(Undulated surface)은 마찰마멸의 기본적인 메커니즘에 대한 고찰을 통해 도출된 기능성 표면으로서 접촉시 발생하는 마멸입

자를 표면에 형성된 골에 모아서 마찰 및 마멸을 감소시키도록 제작되었다[3]. 이러한 요철표면은 실험실차원의 검증을 통해[4-6] 캠/태핏사이나 엔진실린더와 피스톤간의 접촉에서처럼 비교적 접촉압력이 크고 고속으로 작동하는 거시적인 기계요소에서는 마찰 및 마멸저감효과가 어느 정도 입증되었으나 [7] 미소하중이 작용하는 경우에는 미소기기에 대한 적용을 위해 이에 대한 포괄적인 연구가 필요하다. 이에 본 연구에서는 실리콘웨이퍼에 간격 및 형상이 다른 요철표면을 제작하여 작동조건 및 환경조건의 변화

에 따른 기본적인 마찰 및 마멸특성을 이해하고, 이를 하드디스크의 슬라이더에 적용하여 마찰 및 마멸을 저감하는 것을 목적으로 한다.

II. 실험방법

2.1 실험장치

본 실험에서는 저속 및 저하중에서 요철표면의 마찰마멸특성을 파악하기 위해 Fig. 1과 같은 왕복식 micro-tribotester를 제작하였다. 수직하중은 loadbeam의 변위를 일정하게 유지하는 방식으로 부가하였으며 하드디스크의 슬라이더를 핀으로 사용하여 디스크 부분의 수평오차에 의한 하중변동을 최소화하였다. 이 때 수직하중 변동은 가해진 하중의 5%이내였다.

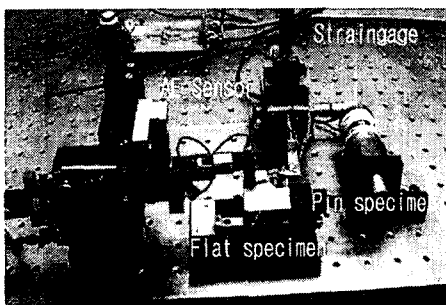


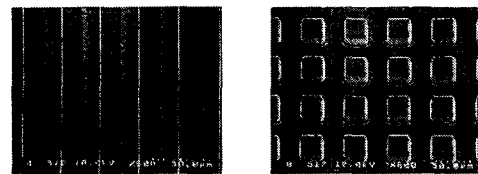
Fig. 1 Experimental setup

핀 시편과 디스크시편간의 접촉운동은 양방향으로 진행되며 핀의 1회 왕복 미끄럼 거리는 8mm이다. 접촉부에서 발생하는 마찰력은 앰프를 통해 증폭되고 A/D board를 통하여 컴퓨터로 저장된다.

2.2 실험시편 및 조건

본 실험에 사용한 핀은 마멸을 가속화하기 위하여 접촉면압이 높은 1/16 inch STB2 베어링용 볼 핀과 습도 및 접촉면적

의 영향을 파악하기 위해 접촉면적이 큰 하드디스크의 슬라이더를 사용하였다. 또한 디스크 시편으로는 실리콘웨이퍼에 Fig. 2와 같이 간격을 5, 10, 20, 50 μ m 변화시키고 형태는 직선형과 사각형의 두 종류를 사용하였다. 요철표면의 간격변화는 접촉면적을 변화시키는 의미 이외에 습도 등의 환경조건에 따라 최저의 마찰계수를 나타내는 형상조건을 파악하기 위한 의도였다.



(a) Linear type (b) Square type

Fig. 2 SEM micrographs of undulated surface (20 μ m width)

또한 이러한 요철표면을 하드디스크의 슬라이더에 적용하여 헤드주위의 마멸입자를 제어하고자 Fig. 3과 같이 헤드주위에 요철이 있는 것과 없는 것을 비교할 수 있는 슬라이더 형태를 제작하여 마멸입자의 제거효과를 관찰하였다.

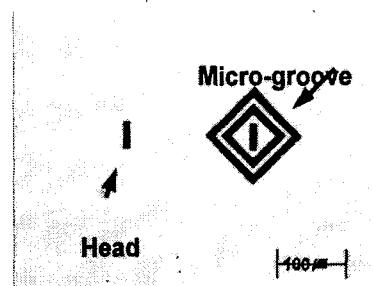


Fig. 3 Slider shape specimen with or without micro-groove

디스크 시편의 미끄럼 속도는 1mm/sec

였으며 작용하중은 1, 5gf로 설정하였다. 한편 습도가 증가함에 따라 표면에 meniscus film이 형성되어 접촉면적을 증가시키는 역할을 하게 되고 이로 인해 마찰마멸특성이 달라지게 되므로 본 실험에서는 상온($25 \pm 2^\circ\text{C}$)에서 상대습도를 30, 50, 70%로 변화시켜 가면서 마찰마멸특성을 파악하였다. 미끄럼거리는 실험조건에 따른 마찰마멸특성을 관찰하기 위해 2m로 설정하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1 요철표면의 마찰특성

작용하중이 5gf일 때 요철간격과 습도를 변화시키면서 얻은 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 그래프에서 요철간격이 0인 것은 요철이 없는 시편을 말한다. 전체적인 경향을 살펴보면, 첫째 요철표면의 형태측면에서 볼 때 명확하진 않으나 사각형(square type)과 직선형(linear type) 중 직선형이 비교적 작은 마찰계수를 갖는 것으로 보인다. 이것은 사각형과 직선형을 비교해 볼 때 접촉면적은 사각형태가 더 작지만 슬라이더가 미끄럼 운동할 때 사각형들의 모서리 부분과 상호간섭을 일으키기 때문에 마찰계수가 높게 나타난 것으로 판단된다. 둘째 요철간격은 습도 및 하중에 따라 많은 차이를 보이지만 요철이 존재하기만 하면 요철이 없는 표면에 비해 낮은 마찰계수를 보이며 그 간격은 큰 영향이 없는 것으로 판단된다. 셋째로 요철이 없는 경우 마찰계수는 습도 증가에 따라 급격하게 증가하지만 요철이 존재하면 간격에 관계없이 약 0.2-0.3정도의 마찰계수를 갖는 것으로 나타났다.

습도의 영향을 확실히 파악하기 위해 작용하중이 1gf인 경우 습도변화에 따른 마찰계수의 변화를 Fig. 5에 나타내었다. 여기서 보면 요철이 없는 시편의 경우, 습도가 증

가함에 따라 마찰계수가 급격히 증가하고 그 편차도 심하게 나타났으나 요철이 있는 시편의 경우에는 습도에 비교적 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

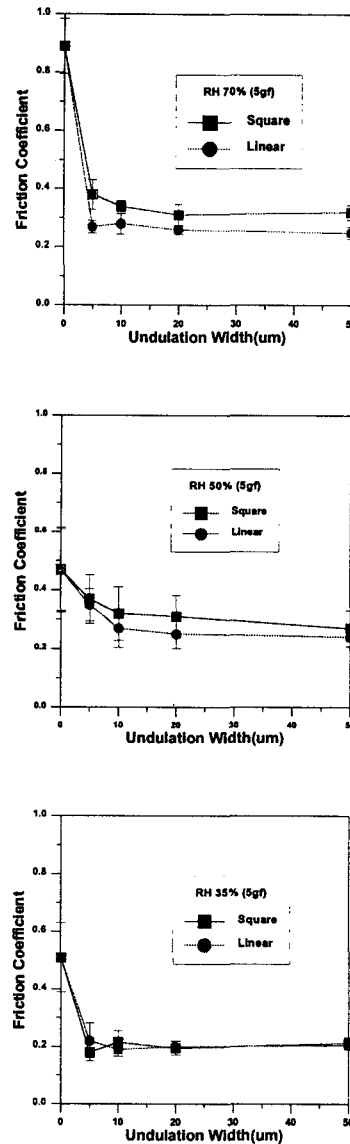
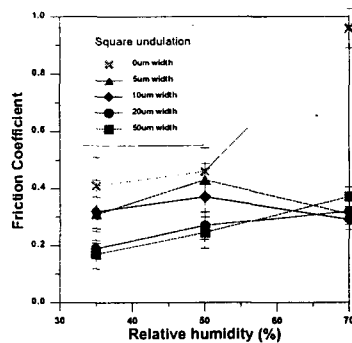


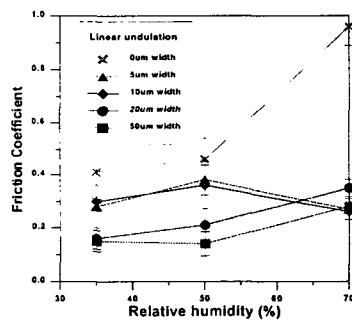
Fig. 4 Change of friction coefficient w. r. t undulation width (5gf)

실험후 접촉면에는 가시적인 마멸흔적은 나타나지 않았으며 습도가 높은 경우에도

실험후에 마멸흔적을 파악하기 어려웠다. 그리하여 가시적인 마멸이 발생하도록 접촉 압력을 높이기 위해 볼 핀을 이용하여 실험한 경우의 마멸트랙의 형상을 Fig. 6에 나타내었다.



(a) Square type



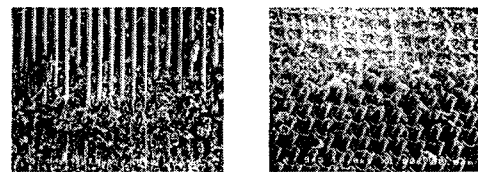
(b) Linear type

Fig. 5 Change of friction coefficient w. r. t humidity at 1 gf

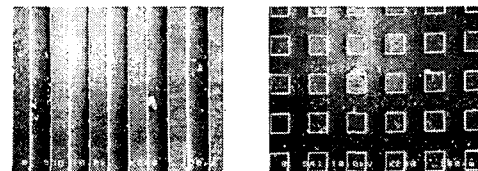
실험은 요철간격이 5 μ m와 50 μ m인 경우 작용하중 5gf, 미끄럼 거리를 2m로 하여 수행하였다. 먼저 요철간격이 5 μ m인 경우의 마멸형태를 보면 직선형과 사각형 모두 요철의 산 부분이 심각하게 파손되어 있는 것을 알 수 있다. 이렇게 발생한 마멸입자는 접촉면에 끼어 들어 미끄럼 운동을 방해하여 마찰계수를 증가시킨다. 요철간격이 50 μ m인 경우 요철의 산 부분이 비교적 넓기

때문에 5 μ m의 경우처럼 요철의 전체적인 파손은 발생하지 않았으나 접촉면에 마멸트랙이 선명하게 관찰되었으며 국부적으로 마멸입자도 많이 발생하였다. 그러므로 안정적인 접촉을 유지하기 위해서는 수직하중을 충분히 지지할 수 있도록 요철의 형상 및 작동조건을 결정해야 한다.

결론적으로 요철의 간격 및 형상을 변화시키면서 실험한 결과, 요철이 존재하면 습도변화에 대해서는 둔감한 특성을 나타내었으며 요철의 형상은 직선형이 비교적 우수하였으며 마멸입자를 포집하는 기능을 발휘하기 위해서는 작용압력을 견딜 수 있도록 적당한 간격과 높이 및 작동조건을 갖아야 할 것이다.



(a) 5 μ m undulation width



(b) 50 μ m undulation width

Fig. 6 SEM image of wear track using ball pin

3.2 하드디스크의 슬라이더에 적용

미세 요철표면을 실제 기계요소에 적용하기 위한 사례로서, 대표적인 정보저장기인 하드디스크의 헤드슬라이더를 선정하였다. 본 연구에서는 헤드슬라이더와 디스크가 착륙과 부상을 반복할 때 발생하는 마멸입자가 헤드를 파손시켜 제품의 수명을

단축시키는 것을 방지하기 위하여 Fig. 3과 같이 접촉으로 인해 발생하는 마멸입자를 포집하거나, 최소한 헤드 쪽으로의 접근을 막기 위해 헤드 앞부분에 사각형이나 V형 등의 형태로 요철표면을 제작하였다.

실험은 마멸을 가속화하기 위해 5gf의 하중으로 윤활유 없는 디스크 위에 접촉한 상태에서 5km를 미끄럼 마찰시켰다. 실험후에 마멸정도를 빛의 강도변화로 환산하여 Fig. 7에 나타내었다. 그래프의 높이는 마멸입자를 나타내는 빛의 정도로서 높을수록 마멸입자가 많이 존재하는 것을 나타내고 피크의 위치는 마멸입자의 위치를 나타낸다. 헤드주위에 미세 요철표면이 있는 경우와 없는 경우를 비교해 보면, 요철이 있는 경우 마멸입자가 매우 적게 존재하는 것으로 나타났다. 이외에도 요철의 간격과 형상을 변화시키면서 실험한 결과 요철의 형상은 V형이, 간격은 넓을수록 좋은 결과를 나타내었다. 그러므로 실제 슬라이더에 미세 요철표면을 가공하면 하드디스크 내부에서 발생하는 입자로 인한 오염을 획기적으로 감소시킬 수 있을 것으로 예상된다.

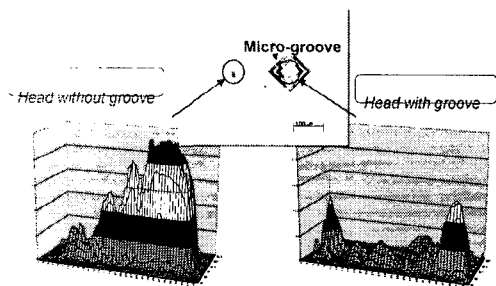


Fig. 7 Wear track and light intensity of head with and without micro-groove

IV. 결론

본 연구에서는 실리콘웨이퍼에 간격 및 형상이 다른 요철표면을 제작하여 작동조건 및 환경조건의 변화에 따른 기본적인 마찰 및 마멸특성을 이해하고, 이를 하드디스크의 슬라이더에 적용하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 요철의 간격 및 형상을 변화시키면서 실험한 결과, 요철이 존재하면 습도변화에 대해서는 둔감한 특성을 나타내었으며 요철의 형상은 직선형이 비교적 우수하였고 마멸입자를 포집하는 기능을 발휘하기 위해서는 작용압력을 견딜 수 있도록 적당한 간격과 높이 갖아야 한다.
2. 미세 요철표면을 하드디스크의 슬라이더에 적용한 결과, 요철이 있는 경우 입자를 제어하여 헤드주위의 오염을 제거할 수 있을 것이다.

후기

본 연구는 한국과학기술연구원(과제번호 : 98HN-097)과 한국과학재단 지정 정보저장기기 연구센터(과제번호 : 97K3-0907-02-02-1)의 지원을 받아 이루어 졌으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- [1] V. N. Bliznyuk, M. P. Everson and V. V. Tsukruk, "Nanotribological Properties of Organic Boundary Lubricants", J. of Tribology, Vol. 120, pp. 489-495, 1998.
- [2] K. Holmberg and A. Matthews,

Coating Tribology, Elsevier Science, 1994.

- [3] N. P. Suh and H. C. Sin, "The Genesis of Friction", *Wear*, Vol. 69, pp. 91-114, 1981.
- [4] N. P. Suh M. Mosleh and P. S. Howard, "Control of Friction", *Wear*, Vol. 175, pp. 151-158, 1994.
- [5] H. Tian, N. Saka and N. P. Suh, "Boundary Lubrication Studies of Undulated Titanium Surfaces", *Tribology Trans.* Vol. 32, No. 3, pp. 289-296, 1989.
- [6] N. Saka, H. Tian and N. P. Suh, "Boundary Lubrication of Undulated Surface at Elevated Temperature", *Tribology Trans.* Vol. 32, No. 3, pp. 389-396, 1989.
- [7] D. E. Kim and N. P. Suh, "Decoupled Design of Cyclinder Liner for IC Engines", *SAE Paper*, No. 911231, pp. 99-106, 1992.