

컴퓨터 하드디스크 드라이브의 레이저 텍스처 디스크와 기계칼 텍스처 디스크의 마모거동에 관한 연구

김우석 · 김도형 · 황 평* · 김장교**

영남대학교 대학원 기계공학부

*영남대학교 기계공학부

**홍콩과학기술대학교 기계공학과

A Tribological Investigation on Laser Textured Disk and Mechanically Textured Disk of Computer Hard Disk Drive

Woo Seok Kim, Do Hyung Kim, Pyung Hwang* and Jang Kyo Kim**

School of Mechanical Engineering, Graduate School, Yeungnam University

**School of Mechanical Engineering, Yeungnam University*

***Department of Mechanical Engineering, The Hong Kong University of Science and Technology*

Abstract—Tribological investigation of ultra thin film magnetic storage disks which have two different kinds of start/stop zone of laser textured bump disk and mechanically textured disk for before CSS test and after CSS test. To measure surface roughness, height reduction before/after CSS test and obtain accurate topographies, AFM(Atomic Force Microscope) which is most powerful recently has been used. The result of statistical analysis showed that both laser textured bump height and mechanically textured zone height have been reduced about 4~7nm after 15000 cycle CSS test. Using commercial Nano-Indenter, ramping load scratch test has been performed to investigate friction characteristic for laser textured zone and mechanically textured zone before/after CSS test.

Key words—head/disk interface, wear, friction, scratch test, surface roughness, contact start/stop, laser textured disk, mechanically textured disk

1. 서 론

최근에 컴퓨터 하드디스크의 용량이 점점 증가하고 또한 헤드와 슬라이드 사이의 부상 높이가 또 한 점점 더 줄어들고 있다. 고속, 대용량을 위해

서는 틈새를 줄여야 하지만 그에 따라 발생하는 것이 헤드/디스크의 접촉으로 인한 헤드와 디스크의 마모를 야기하게 되어 결국에는 하드디스크 드라이브의 손상을 가져온다. 컴퓨터 하드디스크 드라이브는 처음 구동할 때와 동작을 멈출 때 만

이 헤드/디스크의 접촉을 야기하게 된다. 드라이브의 이러한 스타트/스탑 시에만 야기되는 접촉 때문에 하드디스크는 인위적인 스타트/스탑 지역을 만들게 되었다.

최근 이러한 헤드/디스크 사이의 틈새에서의 마모, 마찰, 윤활 등의 문제가 큰 주제로 대두되어 Talke[4,5], Bhushan[1,3,6]같은 연구자들에 의해 많은 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 스타트/스탑시 틈새에서 나노-스케일의 마모가 드라이브의 수명에 결정적인 영향을 끼치게 되어 틈새에서의 마모거동이 심각한 문제로 이 분야의 연구가 시급해지고 있다. 실지 헤드/디스크 틈새에서 접촉으로 인해 스타트/스탑 지역에 마모가 발생되면 파편이 생기게 되고 헤드가 손상을 입게 되어 드라이브의 수명에 상당한 영향으로 작용한다. 헤드/디스크 접촉은 단지 스타트/스탑 시에만 발생하기 때문에 디스크 속도가 정상상태로 되었을 때는 헤드와 디스크 사이에 공기베어링이 형성되어 접촉은 없어진다. 따라서 오직 드라이브가 구동할 때와 멈출 때만 접촉이 일어나며 이것은 컴퓨터 드라이브의 초고속, 대용량을 목적으로한 설계에 있어서 필수불가결한 문제이다.

최근에 인위적으로 만든 스타트/스탑 지역도 여러가지 종류가 연구되고 있다. 본 연구에서도 두 가지 형태의 스타트/스탑 지역을 대상으로 연구가 수행되었다. 하나는 미케니칼 텍스처 디스크이고 또 하나는 최근 개발되었고 여러 타입으로 연구가 진행되고 있는 레이저 텍스처 범퍼 디스크이다. 본 연구에 사용된 것은 V자 형태의 범퍼 모양을 가지고 있다. 이같이 인위적으로 형성된 텍스처는 마모를 줄이는 것 뿐만 아니라 최근 문제가 되고 있는 스틱션을 방지하는데 있어서 효과적이다. 따라서 이 두가지 텍스처 형상을 CSS Test를 수행한 뒤 비교 연구함으로써 어느 형태의

스타트/스탑 지역이 컴퓨터 하드디스크 드라이브에 더 좋은 효과를 가져올 것인가를 추정할수 있게 된다. 이미 레이저 텍스처 디스크에 대한 디자인 및 최적화에 대한 연구[8]가 이루어 지고 있고 앞으로도 점점 확대되고 있으나 명확하게 제시되고 있지는 않다.

본 연구에서는 이러한 두 가지 형태의 인위적인 스타트/스탑 지역의 마모 특성을 CSS Test를 거친 뒤에 AFM(Atomic Force Microscope)를 이용해서 표면을 정밀 스캐닝한 뒤 라인 분석으로 표면의 실제 마모 된 정도를 통계학적인 접근방법으로 실제 감소된 표면의 양을 구해낼 수 있었다. 또한 CSS Test 전/후의 디스크를 상용화된 나노인텐터를 이용해서 스크래치 테스트를 통해 마찰특성을 서로 비교해 보았다.

2. 실험 재료

본 연구에 사용된 디스크는 삼성전자(주)로부터 공급받았으며 레이저 텍스처 디스크와 미케니칼 텍스처 디스크의 두종류의 형태를 가지고 15000 사이클 CSS Test를 수행 한후의 디스크까지 총 4장의 디스크가 실험에 사용되었고, 레이저 텍스처 디스크는 V자형의 형상을 지닌 레이저 범퍼를 가지고 있다. 디스크는 여러 층의 코팅 막으로 되어 있는데 기지는 Al-Mg 층이고 그 위에 Ni-P 층이 있고 그위에 마그네틱 층으로서 Co-Cr-Ta 층이 있다. 이 층을 보호하기 위한 카본 막이 있으며 또한 헤드/디스크 윤활을 위해 Z-Dol의 윤활제가 덮여 있다.

3. 실험 방법

Contact Start/Stop Test 를 두가지 텍스처 즉, 레

이저 텍스처 디스크와 미케니칼 텍스처 디스크를 대상으로 하여 실시되었다. CSS Test 는 상업적으로 상용화된 Tester 가 사용되었고 CSS Test 는 처음에 구동할 때의 영역과 그리고 정상상태로 헤드가 회전하는 디스크 위를 날 때의 영역 그리고 구동을 멈출 때까지의 영역, 이렇게 세 부분으로 나누어 지는데 서두에서 언급했듯이 이 세부분 중에서 구동할 때와 멈출 때에 디스크 축진동으로 인한 디스크의 진동에 헤드가 접촉을 일으키며 또한 이때에는 헤드/디스크의 틈새에 공기베어링이 완벽하게 이루어 지지 않기 때문에 헤드 및 스타트/스탑 지역의 마모를 야기하게 된다. 따라서 이 CSS Test 를 수행하고 난후 헤드의 접촉으로 인한 디스크 표면의 높이 감소를 측정해 보기 위해 최근까지 가장 이상적이고 분해능이 뛰어난 AFM(Atomic Force Microscope)를 이용해서 디스크의 표면을 측정하였다. 레이저 텍스처 범퍼는 인위적인 레이저를 쏘아서 만들어 졌기 때문에 그 높이 또한 각 범퍼마다 차이가 난다. 따라서 AFM 으로 그 높이를 측정하기 위해서도 한두 개의 범퍼만으로는 불충분하여 8 개의 범퍼를 각각 다른 위치의 스타트/스탑지역에서 랜덤하게 추출해서 AFM 을 이용해서 스캔하였다. 스캔 사이즈는 가로, 세로 $20\mu\text{m}$ 이며 스캔속도는 $40\mu\text{m}/\text{sec}$, 분해능은 $400\text{ by }400$ 으로서 아주 정밀한 3 차원 이미지를 창출해내었다. 또한 CSS Test 전후의 디스크들의 마찰 특성을 비교해 보기위해서 상용화된 나노인덴터를 이용하여 스크래치 테스트가 실시되었다. $500\mu\text{m}$ 의 스크래치 길이를 적용했고 하중을 0 에서 10mN 까지 증가 시키면서 스크래치 테스트를 실시 하였다.

4. 실험 결과

Fig. 1 에서 보면 CSS Test 를 수행하기전의 범퍼와 CSS Test 후의 범퍼의 3 차원 AFM 이미지가 나타나 있다. Fig. 1 에서 알 수 있듯이 15000 사이클 CSS Test 후에는 범퍼 주위에 파편들이 생겨났다는 것을 볼 수 있다. Fig 2 에서 미케니칼 텍스처 지역도 표면에 굴곡이 완화된 이미지를 얻을 수 있었다. 일단 AFM 이미지로부터 헤드/디스크의 접촉이 발생 되었다는 것을 시각적으로 알아냈고 마모로 인한 표면 높이의 감소를 더욱더 정확히 알아내기 위해서 AFM 라인분석를 이용해서 표면 조도를 구해내었다. 먼저 범퍼의 높이는 범퍼 언덕을 돌아가면서 높이가 굴곡이 생기게 된다. 따라서 들레높이의 정확성을 위해서 각 10도 마다 돌아가면서 라인분석이 이루어 졌다. 따라서 범퍼 한 개당 18 라인의 분석이 가능해 졌다. 따라서 우리가 총 스캔한 8 개의 범퍼에다 모두 적용하였다. 역시 CSS Test 후의 범퍼에 대해서도 마찬가지로 같은 라인분석이 이루어 졌다. 또한 미케니칼 텍스처 지역도 한 부분만을 스캔해서는 신뢰성이 없으므로 서로 다른 지역 3 부분을 랜덤하게 선택해서 스캔한 이미지로부터 반지름 방향으로 라인분석이 이루어 졌다. 따라서 모두 CSS Test 전/후의 미케니칼 텍스처 지역에 대해 90 개의 라인분석을 수행하였다. 엔지니어링 통계학에서 가장 이상적인 웨이블 분포이론을 이 데이터에 적용시켜서 확률밀도함수 그래프와 누적분포함수 그래프를 얻어 내었다. Fig. 3 에서 보면, 15000 사이클 CSS Test 후의 범퍼의 높이 즉, 범퍼 깊이가 감소했다는 것을 그래프로 알 수 있는데 즉, 15000 사이클 후의 범퍼 깊이가 왼쪽으로 더 감소되었다는 것을 웨이블 확률밀도함수 그래프로부터 범퍼 깊이가 감소했다는 것이 명백히 나타났다. 또한 Fig 4 에서 보면, 역시 누적분포함수로 범퍼의 높이와 미케니칼 텍스처 지역의 peak to valley 값이 왼쪽

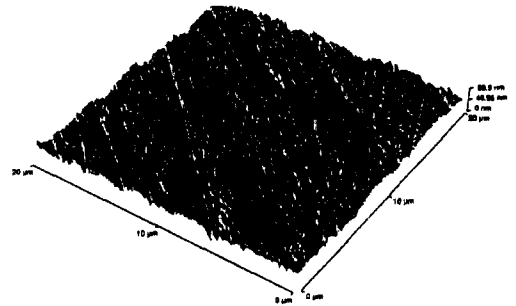
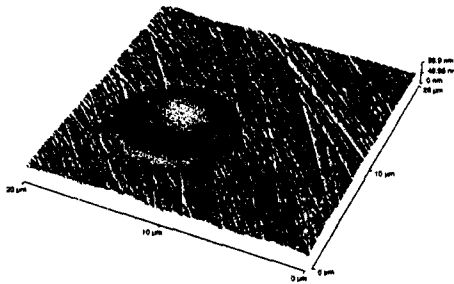
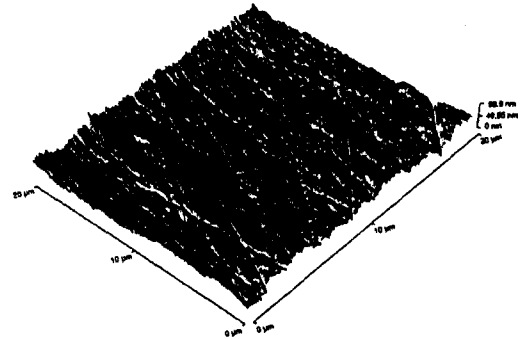
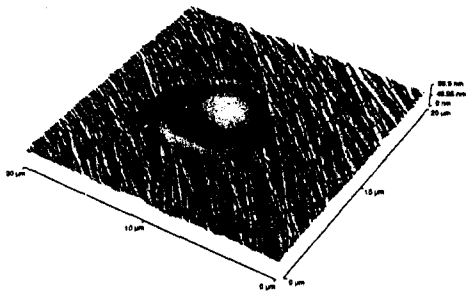


Fig. 1. AFM topography of bump (a)before CSS test and (b)after 15000 cycle CSS test(b).

Fig. 2. AFM topography of mechanically textured zone (a)before CSS test and (b)after 15000 cycle CSS test.

으로 감소되었다는 것이 그래프로써 명백히 나타나는 것 볼 수 있었다. 본 연구에서 헤드/디스크 틈새 마모와 그것이 실지 어느 정도의 마모가 일어났는가 하는 것에 관심을 밀도 있게 두었고 통계학적으로 분석을 하였다. 앞으로 점점 헤드의 부상높이가 낮아지고 있고 헤드/디스크 마모가 점점 더 심각한 문제로 대두되고 있다. 따라서 스타트/스탑 지역의 최적화를 목적으로 여러 형상의 스타트/스탑 지역이 연구되고 있다. 실지 마모된 양으로 봐서는 미케니칼 텍스처 지역이 레이저 텍스처 범퍼보다 웨이블 특성계수로부터 3nm 정도 더 감소가 된 것을 볼 수 있는데 이것도 아마 현재 디스크가 레이저 범퍼형태로 옮겨가고 있는 실정에서 보면 마모의 양이나 스틱션문제에 있어

레이저 범퍼가 더욱 이상적이란 것이 본 실험의 통계학적 표면조도 분석으로부터 나타났다. 확률 밀도함수의 그래프에서 미케니칼 텍스처 지역이 CSS Test 후에 더욱 peak to mean 값에 있어서 균일한 분포를 보이고, 감소된 양도 범퍼보다 훨씬 증가된 것을 나타내었다. 또한 누적분포함수 그래프에서도 미케니칼 지역의 CSS Test 후의 그래프의 기울기가 더욱 급격하다는 것이 바로 마모 후 peak to mean 값이 더욱 균일해 졌다는 것이다. 레이저 범퍼 역시 미케니칼 지역 보다는 감소가 적었지만 역시 수 나노 미터 스케일 정도로 감소되었다는 결과를 확연히 보여준다. 또한 디스크 마모에서 중요한 것은 파편들의 영향을 무시할 수가

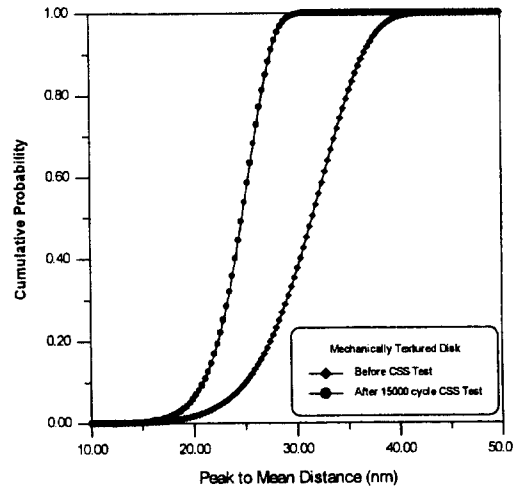
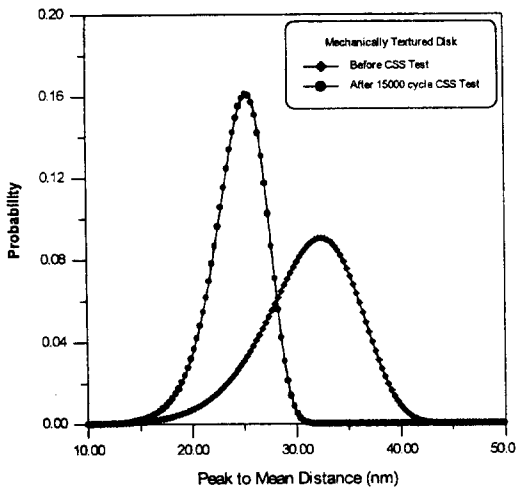
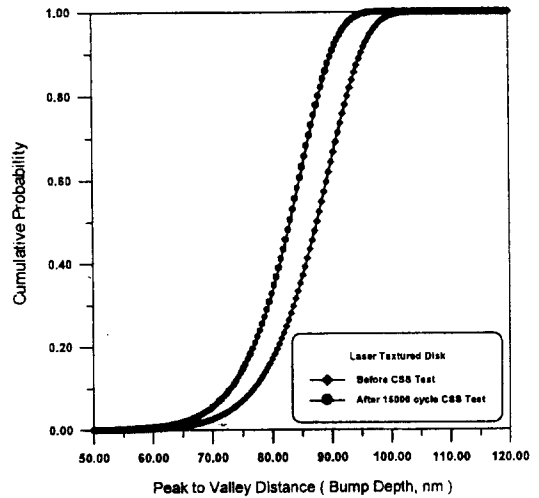
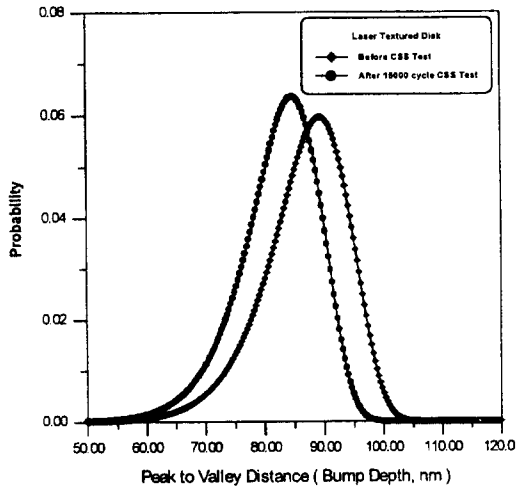


Fig. 3. Weibull probability density function graph against (a)peak to valley of bump (b)peak to mean of mechanically textured zone.

Fig. 4. Weibull cumulative distribution function graph against (a)peak to valley of bump (b)peak to mean of mechanically textured zone.

없다. 현재 범퍼주위에서 보이는 파편들은 아주 작은 것들이지만 이러한 파편들이 헤드에 미치는 영향 또한 드라이브 수명을 단축시킬 우려를 낳는다. 그래서 중요한 것이 윤활제로서 마모시 파편을 최대한 줄이는 효과를 가지고 있다. 현재 디스크에 가장 많이 사용되고있는 것이 Z-Dol로서

앞으로 윤활제에 대한 연구 또한 중요하리라고 본다. 윤활제로 인한 스틱션 문제가 텍스처 형태에서 유발되는 스틱션 문제보다 오히려 영향을 더 받을지도 모른다는 추정을 해볼 수 있다. CSS Test 전/후의 두 가지 형태의 디스크의 마찰특성을 알아보기 위해 상용화된 나노인텐터로서 스크래

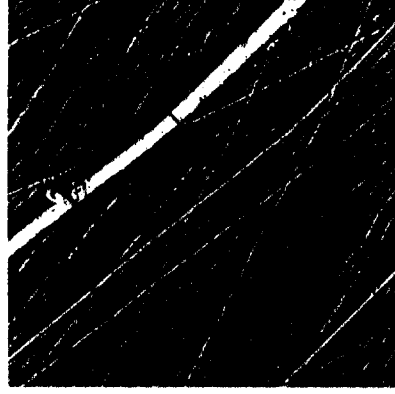
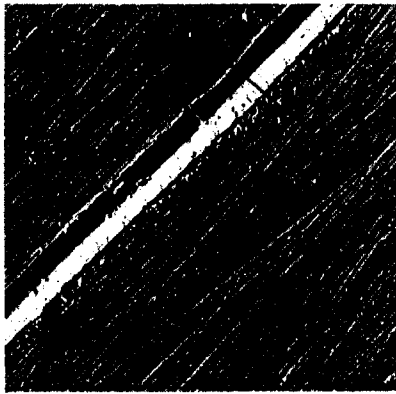
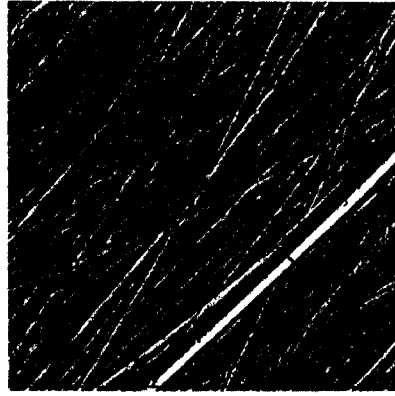
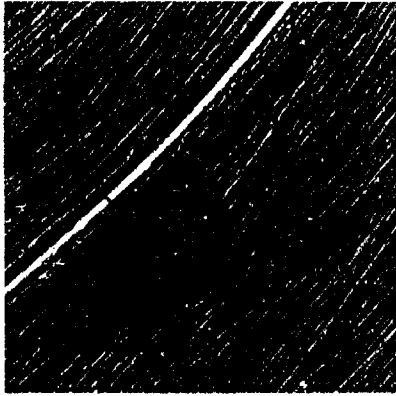


Fig. 5. AFM topography of deformation profile of (a)the first region of scratch test (b)the last region of scratch test on laser textured bump zone before CSS test.

Fig. 6. AFM topography of deformation profile of (a)the first region of scratch test (b)the last region of scratch test on mechanically textured zone before CSS test.

치 테스트가 실시 되었다. 실험조건은 0 에서부터 10mN 까지 하중을 증가 시키면서 500 μ m 를 스크래치 길이로 하여 스크래치 테스트가 수행되었다. Fig. 9 에서 CSS Test 전과 15000 사이클 CSS Test 후의 레이저 텍스처 범퍼 지역과 기계칼 텍스처 지역을 스크래치 테스트한 결과, 형태가 다른 두 텍스처 사이에 마찰계수 의 양상에는 별 차이는 없었지만 그래프의 경향은 처음에 급격히 마찰계수가 증가 하였고, 그것은 카본 보호막의 경도에

의한 것으로 분석되며, 그 후 마그네틱 층과 그 이하로 깊이 파고 들면서는 그다지 급격한 증가의 양상은 볼 수 없었다. 스크래치 테스트의 처음부분과 끝부분의 스크래치 깊이를 비교해 보기 위해 AFM 을 이용해서 Fig. 5,6 의 이미지를 잡아내었다. 또한 스크래치 시작부분과 끝나는 부분의 스크래치 깊이를 Fig. 7,8 의 라인 크로스-섹션 분석으로 알아낼 수 있었다. 역시 초반에는 그다지 깊이 파고들지 않았기에 카본막의 경도의 영향을

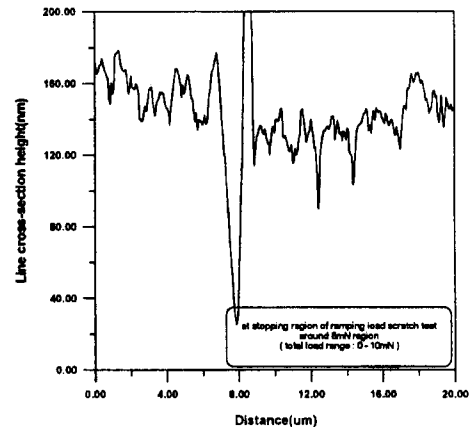
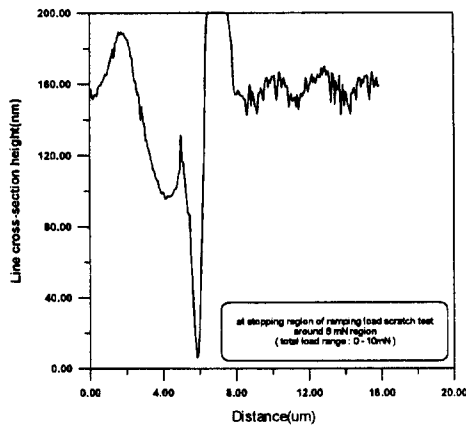
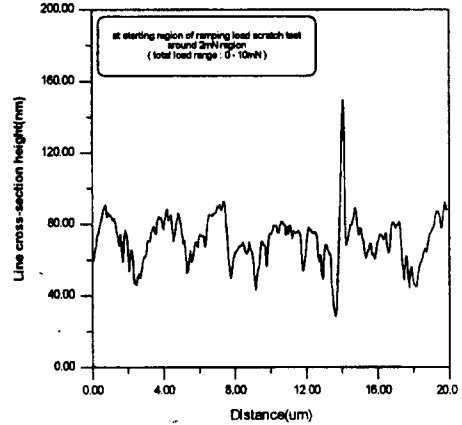
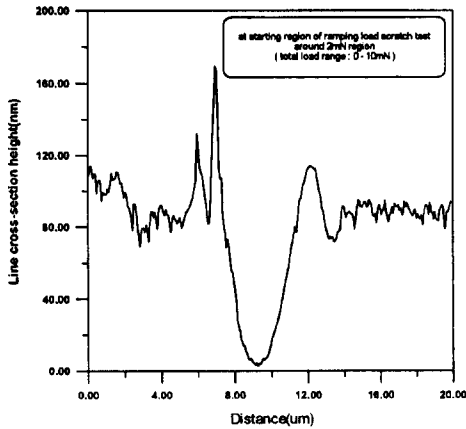


Fig. 7. Cross-section of deformation profile of (a)the first region of scratch test (b)the last region of scratch test on laser textured bump zone before CSS test.

Fig. 8. Cross-section of deformation profile of (a)the first region of scratch test (b)the last region of scratch test on mechanically textured zone before CSS test.

반아 마찰계수가 급격히 증가하였고 스크래치가 끝나는 9~10mN 지점에서는 100nm 이상 파고 들어가 카본막을 뚫고 마그네틱층까지 파괴하면서 카본보다 경도가 낮은 그 이하 중간 기지까지 파괴된 것을 스크래치 크로스-섹션으로부터 볼 수 있었다. 따라서 마찰계수에 있어서 급격한 증가의 양상을 볼 수는 없었다. 이것으로 볼 때도 디스크에 있어서 카본막의 필요성과 효과를 명백히 볼 수 있는 것이다. 그러나 CSS Test 전/후의 마찰계

수는 같은 경향의 곡선형태 나타내었고, 또한 스타트/스탑 지역의 형태 즉, 레이저 범퍼 지역과 미케니칼 텍스트 지역의 형태에 따라서는 마찰계수에 있어서 차이는 보이지 않았다.

5. 결론

본 실험을 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.
I. Contact Start/Stop Test 전/후의 레이저 텍스처

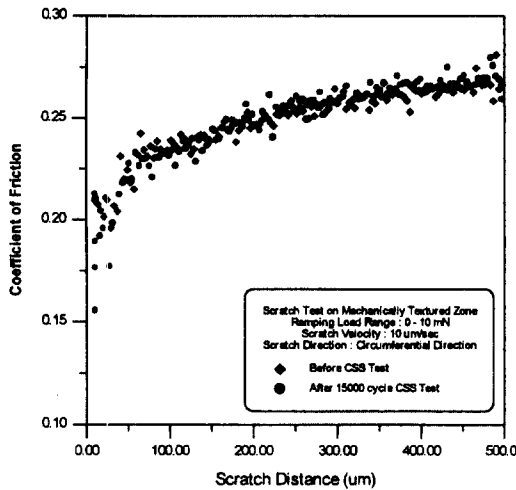
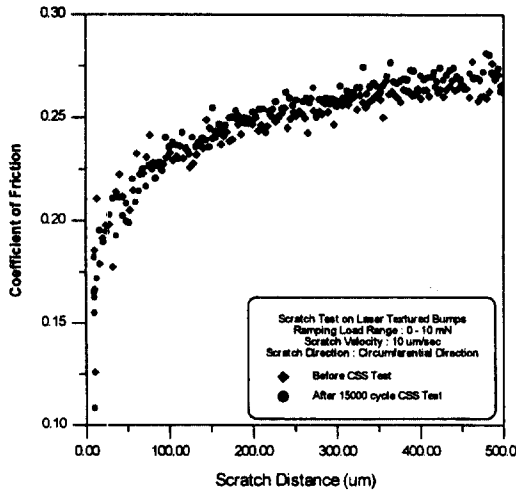


Fig. 9. Coefficient of friction against scratch distance for laser textured bump zone and mechanically textured zone before/after 15000 cycle CSS test.

범퍼 지역과 미케니칼 텍스처 지역의 두 가지 스타트/스탑 지역의 높이 감소를 비교해 보았다. 통계학적 분석으로 감소를 측정해 본 결과 두 가지 형태의 스타트/스탑 지역 모두 나노-스케일로 감소가 되었고 그 감소량의 정도는 웨이블 특성 계수에 있어서 4~7nm 범위를 보였다.

II. 최근 스타트/스탑 지역의 형태가 점점 레이저 텍스처 범퍼로 바뀌어 가고 있는 것이 또한 본 연구에서 나타났듯이 미케니칼 텍스처 지역의 마모가 레이저 범퍼보다 3nm 정도 더 감소된 것을 나타내어주기 때문이라고 분석할 수 있다. 또한 AFM 이미지에서 보았듯이 헤드가 접촉되는 면적 또한 레이저 범퍼가 훨씬 적기 때문에 스틱션도 훨씬 줄일 수 있으므로 미케니칼 텍스처 지역 보다는 레이저 텍스처 범퍼가 마모량이나 스틱션 문제에 있어서 훨씬 더 효과적인 텍스처 구조라고 분석할 수 있다.

III. 하드디스크의 마찰특성을 알아보기 위해 램핑 로드 스크래치 실험이 수행되었다. 스크래치후 AFM 이미지에서 보았듯이 초기일 때 즉, 하중이 1~2mN 일때 스크래치 깊이가 카본 보호막의 범위에 있고 또한 카본막의 경도의 영향을 받아 마찰 계수가 급격히 증가하는 것을 볼 수 있었고, 스크래치가 끝나는 9~10mN 지점에서는 마그네틱층 이하 카본 보다 경도가 낮은 중간기까지 파고 들어간 스크래치 깊이를 보아 이미 카본 막의 영향권에서 벗어나서 이제는 더 이상 급격한 마찰 계수의 증가를 볼 수 없이 서서히 증가하는 결과를 보았다.

후 기

본 연구의 수행에 있어 많은 도움을 주신 The Hong Kong University of Science and Technology 의 MCPF, AEMF 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참 고 문 헌

1. Bhushan, B., Tribology and Mechanics of Magnetic

- Storage Devices, Springer, New York, 1996.
2. Mee, C.D. and Daniel, E.D., *Magnetic Recording Handbook*, McGraw-Hill, New York, 1989.
 3. Sundararajan, S. and Bhushan, B., "Micro-Nanotribological Studies of Polysilicon and SiC Films for MEMS Applications," *Wear*, Vol. 217, pp. 251-261, 1998.
 4. Machcha, A.R., Azarian, M.H. and Talke, F.E., "An Investigation of Nano-Wear during Contact Recording," *Wear*, Vol. 197, pp. 211-220, 1996.
 5. Khurshudov, A., Knigge, B. and Talke, F.E., "Tribology of Laser-Textured and Mechanically-Textured Media," *IEEE Trans. Mag.*, Vol 33, pp. 3190-3192, 1997..
 6. Bhushan, B., Gupta, B.K. and Azarian, M.H., "Nanoindentation, Microscratch, Friction and Wear Studies of Coatings for Contact Recording Applications," *Wear*, Vol. 181-183, pp. 743-758, 1995.
 7. Wang, R.H., Raman, V., Baumgart, P., Spool, A.M. and Deline, V., "Tribology of Laser Textured Disks with thin overcoat," *IEEE Trans. Mag.*, Vol. 33, No. 5, pp. 3184-3186, 1997.
 8. Liu, J.J., "Optimization of Laser Texture for the Head-Disk Interface," *IEEE Trans. Mag.*, Vol. 33, No. 5, pp 3202-3204, 1997.
 9. Kim, D.H., Hwang, P. and Kim, J.K., "Anisotropic Tribological Properties of The Coating on A Magnetic Recording Disk," *ASME/STLE International Tribology Conference*, Toronto, Canada, Oct., 1998.