

하드디스크 DLC 필름의 마찰 마모특성에 대한 온도와 습도의 영향

안준양* · 김대은**

Effects of Temperature and Humidity on the Friction and Wear Properties of DLC Film on the Hard Disk

J.Y.Ahn, D.E.Kim

Key Words : Diamond-like carbon Film(다이아몬드상 카본 필름), Friction Coefficient(마찰계수), Relative Humidity(상대습도), Temperature(온도), Wear resistance(마모저항),

Abstract

DLC(Diamond-like carbon) films possess high hardness, low friction coefficient, and good wear resistance. Due to these properties, DLC films have been used extensively in magnetic hard disk industry. The objective of the present study was to investigate the influence of environmental condition on the tribological behavior of DLC coated hard disk. It is found that the tribological characteristics of DLC films are strongly affected by relative humidity and temperature. Specifically, the friction coefficient increases with increase in temperature at relative humidity of 50%. However, at 20% and 85% RH the effect of temperature was not significant. Also, the degree of wear could be observed using an AFM.

1. 서론

DLC (Diamond-like carbon) 필름은 다이아몬드나 흑연과는 달리 독특한 비정질(amorphous) 구조로 되어있기 때문에 지난 수십년동안 정밀부품의 마찰저감과 내구성 향상을 목적으로 지속적으로 연구되어왔다. DLC 필름은 200°C 이하의 온도에서도 합성이 가능하기 때문에 거의 모든 재료를 기판으로 사용할 수가 있고, 비정질의 준안정상이므로 그 물리 화학적 성질이 넓은 범위에 걸쳐 있다. 따라서, 특정 응용분야에서 요구하는 특성을 갖는 필름의 합성이 가능하다. 또한, 이 필름은 높은 경도와 밀도, 내마모성을 가지고 있고, 비정질이므로 합성표면이 1nm 이하의 표면거칠기를 가지고 있어서 내마모, 내부식, 윤활 코팅으로의 응용이 가

장 활발하게 연구되어 왔다.⁽¹⁻⁴⁾

컴퓨터 산업에서도 1980년대 초반부터 하드디스크의 부식과 마모를 보호하기 위해 DLC 필름을 자기기록층 위에 코팅하여 사용하기 시작하였으며 현재 상용화되어 있는 하드디스크는 대부분 보호막으로서 수 nm 두께의 DLC 필름이 코팅되어 있다. 헤드 슬라이더와 디스크와의 상대운동을 통하여 자기정보를 읽고 기록하는 하드디스크는 해마다 자기 저장 밀도가 급격히 증가하고 있으며, 그에 따른 헤드 슬라이더의 부상높이는 감소하여 디스크와 헤드 슬라이더의 접촉 가능성이 커지고 있다.⁽³⁻⁷⁾ 특히, 디스크와 헤드 슬라이더의 접촉시 각종 환경변화에 따른 마찰, 마멸특성에 대한 이해가 점차로 중요한 문제로 대두되고 있다. 이러한 헤드 디스크 인터페이스에서의 환경에 따른 마찰, 마멸특성에 대한 연구는 많이 발표되었지만⁽⁵⁻⁷⁾ 하드디스크 DLC 필름의 환경에 따른 마찰 및 마모 특성에 대한 연구는 아직 미흡한 상황이다.

DLC 필름은 매우 낮은 마찰계수를 가지고 있지만, 다른재료와 DLC 필름사이의 마찰계수는 상대

* 연세대학교 대학원 기계공학과

** 회원, 연세대학교 기계공학과

습도와 온도에 크게 영향을 받는다고 알려져 있다.⁽⁸⁻¹⁰⁾

Tanaka 등은⁽⁸⁾ SiC 볼과 DLC 코팅된 시편사이의 마찰실험을 통해 미끄럼 시간이 길어질수록 저습, 고습상태에서의 마모율은 감소하지만, 특히 고습상태에서의 접촉면적은 점진적으로 증가한다고 보고하였다. Liu 등은⁽¹⁰⁾ DLC Film 과 ZrO₂ 재질의 Pin 사이의 Pin on disk tribo test 를 통해 0%의 저습환경에서는 마찰계수와 마모율이 낮고 100%의 고습환경에서는 상대적으로 높은 마찰계수를 유지한다고 하였다. 그리고, 이들은 영하 10°C 의 저온환경에서 DLC 필름은 짧은 미끄럼시간에 마찰계수가 급격히 증가하여 Pin 과 DLC 필름의 마모율이 매우 높게 나타난다고 하였다.

또한, DLC 필름은 고진공, 고온환경에서 높은 마찰계수를 나타내고, 급속하게 파손된다고 알려져 있으며⁽¹²⁾, Si 을 DLC 필름에 첨가하여 마찰계수의 습도에 대한 영향을 현저히 감소시킬 수 있음이 확인되었다.^(8,13) Inkin 등은⁽¹⁴⁾ DLC 필름의 마모저항을 증가시키고, 마찰계수를 감소시키기 위해서 DLC 필름에 여러가지 금속들을 함유시키는 방안을 제시하기도 하였다.

본 연구에서는 하드디스크의 DLC 필름이 온도와 습도에 따라 어떤 마찰, 마멸특성을 지니는가를 실험적으로 살펴보고자 하였다. 실제 하드디스크 드라이브의 작동환경에서는 DLC 필름의 마찰, 마모특성을 파악하기에는 대단히 많은 시간이 소요된다. 그러나 주어진 조건보다 한층 가혹한 조건을 초기 인자로 설정한다면 단시간내에 경향성과 특성을 파악할 수 있다. 이러한 가속실험을 통해 온도와 습도에 따른 하드디스크 DLC 필름의 마찰특성과 필름 표면의 마모정도 등을 파악하였다.

2. 실험

2.1 시편

본 실험에 사용된 디스크 시편은 0.8mm 의 두께를 가진 LZT(Laser Zone Texture) disk 의 일종이며, AFM(Atomic Force Microscopy)으로 데이터 영역의 평균 표면거칠기를 측정된 값은 약 1.1nm 이다.

Fig.1 은 디스크의 코팅성분 및 DLC 층의 두께를 파악하기 위한 AES(Auger Electron Spectroscopy)분석자료이다. Sputtering 시간이 증가할수록 DLC 층에서는 탄소성분이, 그 하부에는 코발트층, 크롬층 등이 차례로 나타나는 것을

볼 수 있다. 또한, 각 계면에서는 코팅성분이 증착되어 나타나는데, 이것은 ion beam 이 경계면에서 원소들을 mixing 작용을 하고, 디스크표면의 거칠기 때문이다.⁽¹⁵⁾

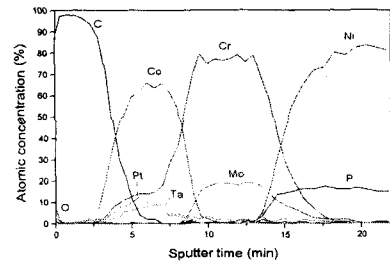


Fig. 1 Auger analysis of disk surface

Sputtering 시 디스크는 깊이방향으로 분당 10nm 정도 침식된다. 이것만으로 각 층의 두께를 파악하는 것은 대단히 어렵다. 그 이유는 depth profiling 시 matrix effect 와 chemical effect 가 발생하고, 표면형상때문인 것으로 알려져 있다.⁽¹⁵⁾

상대마찰재료는 STB2(고탄소 크롬 베어링 강재)로 제작된 볼베어링용 Steel-ball 을 사용하였고, 사용된 볼의 화학성분은⁽¹⁶⁾ 다음과 같다.

Table 1. Chemical composition of ball

Cr	C	Si
1.30~1.60	0.95~1.10	0.15~0.35
Mn	P	S
< 0.50	< 0.025	< 0.025

Steel-ball 의 직경은 5mm, 표면거칠기는 약 0.02 μ m 이고, 경도는 HV 780 정도이다. 볼에 묻어 있는 이물질을 제거하기 위하여 실험전에 초음파 세척기를 이용하여 아세톤에 담귀서 3 분, 알코올에 담귀서 3 분 세척한 후에 증류수로 깨끗이 닦아내어 사용하였다.

2.2 실험장치

이 실험에 사용된 실험장치는 Fig.2 에 나타난 바와 같은 Pin on Flat Tribotester 이다.

위에 고정된 steel ball 과 왕복운동하는 plate 사이의 접촉으로 인해서 발생하는 마찰력은 strain-ring 에 전달되어 압축력 또는 인장력을 발생시킨다. 이 힘은 strain-ring 에 부착한

strain gage 에 의해 전압으로 변환되고, AMP 로 증폭되어 A/D board 를 통해 PC 에 저장된다. 측정된 전압값을 strain-ring 의 교정결과를 이용하여 마찰계수로 변환하여 최종결과를 얻었다.

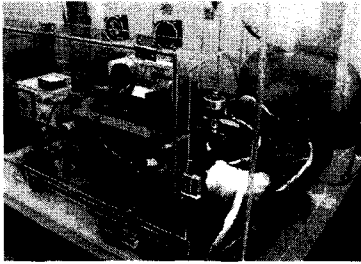


Fig.2 Pin on flat tribotester

미끄럼 시험 조건을 일정한 습도로 유지하기 위해서 실험장치는 아크릴로 만들어진 덮개로 씌워졌다. 85% 이상의 상대습도는 가습기를 이용하고, 20% 이하의 상대습도는 건조제인 실리카겔을 이용하여 실험장치내의 습도센서를 통해 피드백시킴으로써 항습을 유지하였다. 그리고, 디스크시편의 온도가 상온, 50°C, 80°C 의 조건으로 유지될 수 있도록 하기 위해서 왕복운동하는 Plate 위에 시편가열대를 부착하였는데, 이 시편가열대에는 히터(heater)봉과 thermocouple 을 사용하여 피드백시켰다.

2.3 실험내용

실제 하드디스크 드라이브의 구동조건에서 하드디스크 DLC 필름의 마찰, 마모특성을 파악하기에는 대단히 많은 시간이 소요된다. 그러나 주어진 조건보다 한층 가혹한 조건을 초기인자로 설정한다면 단시간내에 경향성과 특성을 파악할 수 있다.

이러한 가속실험을 위해서 본 연구에서는 수직하중을 50g, 미끄럼 선속도를 3.3cm/s 의 가혹한 조건으로 설정하였으며 상온(28±5°C), 50°C, 80°C 의 온도와 20±5%, 50±5%, 85±5%의 습도의 환경조건을 변화시켜가며 마찰실험을 수행하였다. 실험후에는 AFM 을 이용하여 각각의 환경조건에 따른 DLC 필름의 마모정도를 관찰하였다.

현재 상용화되어 있는 하드디스크의 DLC 필름의 두께는 대략 5-7nm 정도로 알려져 있고, DLC 필름 위에는 Z-dol 이라고 불리는 윤활제가 2.5-2.8nm 정도 코팅되어 있다.⁽¹⁷⁾ 하지만, DLC 표면코팅에 대한 규정이 없고 기준 정립이 안되어 있기 때문에 명확한 DLC 필름의 두께를 파악하는 것은 대단히 어려운 일이다.

따라서, 본 실험에서는 하드디스크의 표면에서 DLC 필름까지의 두께를 10nm 정도로 가정하고, 시간대별로 DLC 필름의 마모정도를 파악하는 예비실험을 한 결과 하드디스크 DLC 필름은 대략 160 초 이내에서 파손되는 것이 관찰되었다.(Fig.3)

본 실험에서는 미끄럼시간을 120 초로 설정하여 DLC 필름이 파손되는 시점의 마찰, 마모특성이 온도와 습도에 따라 어떻게 영향을 받는지 확인하고자 하였다.

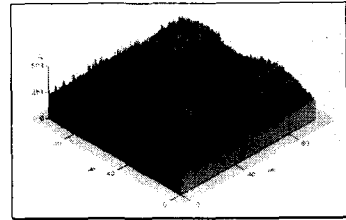


Fig.3 3-D surface profile of hard disk after sliding test (50gf, 30°C, RH 60%, 160 sec)

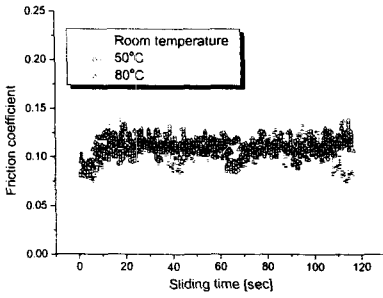
3. 실험결과 및 고찰

3.1 온도의 영향

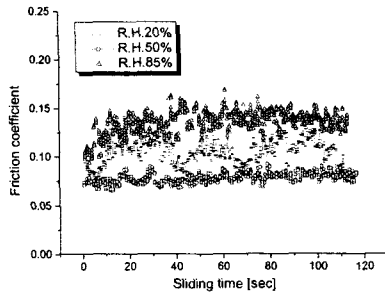
Fig.4 는 상대습도가 20%일 경우, 50%일 경우, 85%일 경우의 각각에 대해서 온도에 따른 마찰계수의 변화를 나타낸 것이다. Fig.4 에서 보여지듯이 상대습도가 50%인 경우에는 온도가 높을수록 마찰계수가 높게 나타나는 양상을 보이지만 상대습도가 20%인 경우와 85%인 경우에는 온도에 따라 별차이를 보이지 않는다. 이것은 저습일때와 고습일 경우 DLC 필름은 온도보다는 상대습도에 더 영향을 많이 받는 것으로 사료된다.

3.2 상대습도의 영향

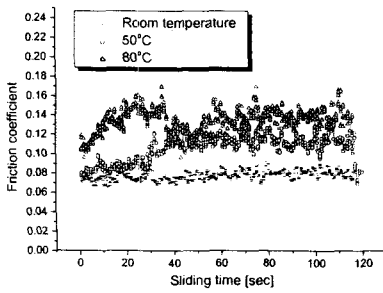
Fig.5 는 상온일때와 50°C, 80°C 의 온도의 경우 상대습도에 따른 마찰계수의 변화를 나타낸 것이다. Fig.5(a)는 상온에서의 습도에 따른 마찰계수를 나타낸 것인데, 저습(20%)일때와 고습(85%)인 경우에 마찰계수가 높게 나오는 것을 알 수 있고, 저습인 경우보다 고습인 경우에 DLC 필름의 마찰력 변화가 더 심한 것으로 나타났다. Fig.5 (b),(c)에서도 고습인 경우(85%)에 마찰계수가 가장 높게 나타났으며, 상대습도가 20%와 85%인 경우에는 온도가 상승하더라도 마찰계수의 값에 큰 변화가 없었다.



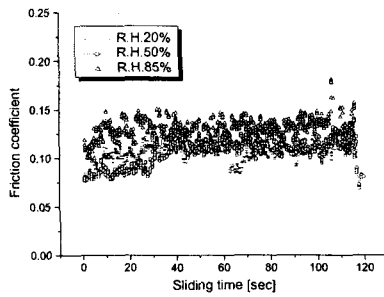
(a) Relative humidity 20±5%



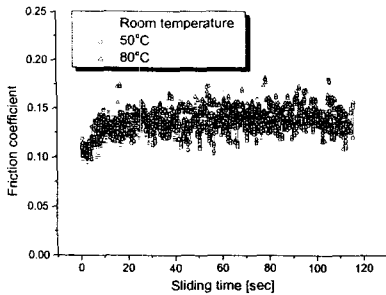
(a) Room temperature



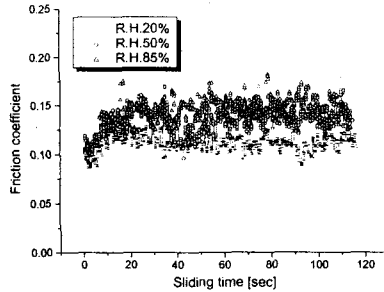
(b) Relative humidity 50±5%



(b) 50°C



(c) Relative humidity 85±5%



(c) 80°C

Fig.4 Friction coefficient at various temperatures

Fig.5 Friction coefficient at various relative humidities

Table 2. Environmental conditions

set	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9
Temperature [°C]	Room	50	80	Room	50	80	Room	50	80
Humidity [%]	20±5	20±5	20±5	50±5	50±5	50±5	85±5	85±5	85±5

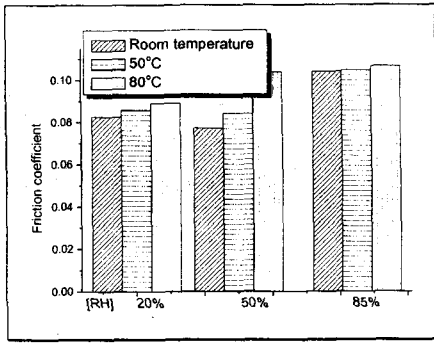


Fig.6 Histogram of friction coefficient with respect to humidity and temperature

Fig.6 은 실험결과를 종합하여 온도와 상대습도가 마찰계수에 미치는 영향을 나타내고 있다.

또한, Fig.7 은 실험 후 하드디스크 표면위에 생긴 마모트랙을 AFM 을 이용하여 측정한 다음, 트랙에서 3 부분을 선정하여 마모트랙의 깊이와 폭을 평균내서 얻은 값들을 나타낸 것이다.

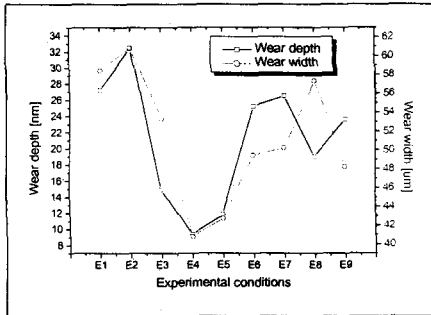


Fig.7 Wear properties with respect to environmental conditions

Fig.7 에서 저습(20%)인 경우에는 온도가 50°C 에서 마모트랙의 깊이와 폭이 가장 높게 나타나고, 상대습도가 50%인 경우에는 상온에서 마모트랙의 깊이와 폭이 가장 낮게 나타난다. 또한, 온도가 80°C 에서는 저습(20%)의 경우, 마모트랙의 깊이와 폭이 감소한 반면, 상대습도 50%의 경우에는 마모트랙의 깊이와 폭이 많이 증가함을 볼 수 있다. 상대습도가 85%의 경우, 온도가 50°C 에서는 마모트랙의 깊이가 낮게 나타나고, 마모트랙폭은 넓어진 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는, 하드디스크 자기기록층위에 수 nm 로 코팅되어 있는 DLC 필름의 마찰 및 마모 성질에 미치는 온도와 상대습도의 영향을 실험적으로 조사하였다. 그 결과를 토대로 다음과 같은 결론을 얻었다.

하드디스크 DLC 필름의 마찰 마모특성은

1. 상대습도가 50%일 경우, 온도가 증가할수록 높은 마찰계수를 나타낸다.
2. 저습(20%)과 고습(85%)환경에서는 온도의 변화에 따라 마찰계수의 변화가 비교적 적다.
3. 상대습도가 50%일 경우, 상온과 50°C 에서 마모트랙의 깊이와 폭이 낮게 나타난다.
4. 고습(85%)이고 50°C 일 경우에는 마모트랙의 깊이가 낮은 반면, 마모트랙 폭은 넓어진다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 지정 연세대학교 정보저장기기 연구센터(과제번호 : 2001-G-0201)의 지원을 받아 이루어졌으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Grill, A., 1999, "Diamond-like carbon : state of the art," *Diamond and Related Materials*, Vol. 8, pp. 428~434.
- (2) Lifshitz, Y., 1999, "Diamond-like carbon - present status," *Diamond and Related Materials*, Vol. 8, pp. 1659~1676.
- (3) Bhushan, B., and Koinkar, V. N., 1995, "Microscale mechanical and tribological characterization of hard amorphous carbon coatings as thin as 5nm for magnetic disks," *Surface and Coatings Technology*, Vol. 76~77, pp. 655~669.
- (4) Bull, S. J., and Korsunsky, A. M., 1998, "Mechanical properties of thin carbon overcoats," *Tribology International*, Vol. 31, No. 9, pp. 547~551.
- (5) 이성창, 박용식, 전규찬, 김대은, 2000, "하드디스크의 표면파손과 데이터 손실과의 관계," 한국정

- 밀공학회지, 제 17 권, 제 2 호, pp. 35~42.
- (6) Zhao, Q., and Talke, F. E., 2000, "Effect of environmental conditions on the stiction behavior of laser textured hard disk media," *Tribology International*, Vol. 33, pp. 281~287.
- (7) 박용식,성인하,김대은, 2001, "환경 조건에 따른 하드디스크의 Stiction 및 AE 특성," *한국윤활학회지*, 제 17 권, 제 1 호, pp. 1~9.
- (8) Ozmen, Y., Tanaka, A., and Sumiya, T., 2000, "The effect of humidity on the tribological behavior of diamond-like carbon (DLC) film coated on WC-Co by physical vapor deposition method," *Surface and Coatings Technology*, Vol. 133~134, pp. 455~459.
- (9) Neerinc, D., Persoone, P., Sercu, M., Goel, A., Venkatraman, C., Kester, D., Halter, C., Swab, P., and Bray, D., 1998, "Diamond-like nanocomposite coatings for low-wear and low-friction applications in humid environments," *Thin Solid Films*, Vol. 317, pp. 402~404.
- (10) Liu, Y., Erdemir, A., and Meletis, E. I., 1997, "Influence of environmental parameters on the frictional behavior of DLC coatings," *Surface and Coatings Technology*, Vol. 94~95, pp. 463~468.
- (11) Venkatraman, C., Brodbeck, C., and Lei, R., 1999, "Tribological properties of diamond-like nanocomposite coatings at high temperatures," *Surface and Coatings Technology*, Vol. 115, pp. 215~221.
- (12) Krumpiegl, T., Meerkamm, H., Fruth, W., Schaufler, C., Erkens, G., and Bohner, H., 1999, "Amorphous carbon coatings and their tribological behaviour at high temperatures and in high vacuum," *Surface and Coatings Technology*, Vol. 120~121, pp. 555~560.
- (13) Oguri, K., and Arai, T., 1992, "Two different low friction mechanisms of diamond-like carbon with silicon coatings formed by plasma-assisted chemical vapor deposition," *Journal of Materials Research*, Vol. 7, No. 6, pp. 1313.
- (14) Inkin, V. N., Kirpilenko, G. G., Dementjev, A. A., and Maslakov, K. I., 2000, "A superhard diamond-like carbon film," *Diamond and Related Materials*, Vol. 9, pp. 715~721.
- (15) Riviere, J. C., and Myhra, S., 1998, *Handbook of surface and interface analysis*, Marcel Dekker, Inc.
- (16) 한국표준협회, KS 규격집.
- (17) Bao, G. W., Troemel, M., and Li, S. F.Y., 1998, "AFM study of polymer lubricants on hard disk surfaces," *Applied Physics*, Vol. A 66, S 1283~S 1288.