

디스크 표면 토포그래피가 자기저항 헤드의 베이스라인 안정성에 미치는 영향

좌 성 훈*

(1999년 2월 18일 접수)

The Effects of Disk Surface Topography on Baseline Instability of MR Head

Sung Hoon Choa

Key Words : Hard Disk Drive (하드디스크 드라이브), MR Head (자기저항 헤드), Surface Topography (표면 토포그래피), Baseline Instability (베이스라인 안정성), Waviness (표면파형)

Abstract

Several factors which influence baseline instability (BLI) phenomenon in MR drive were investigated experimentally. In particular, the role of surface topography on BLI was studied in detail. The results show that BLI is linearly proportional to the surface waviness with a spatial wavelength of 0.4 to 5.0 mm. BLI becomes worse as the surface waviness increases. On the other hand, surface roughness which has a spatial wavelength below 25 μ m has no effect on BLI. The results further show that the effect of bias current on the BLI is amplified on the disk with worse surface waviness. The disk surface waviness is dependent on the manufacturing process and becomes an inherent surface property of media. The disk surface waviness, therefore, can not be overlooked when evaluating the media for a high-performance hard disk drive. In general, waviness is reduced mainly during grinding and polishing process during manufacturing.

기호설명

T_s	센서의 온도
i	바이어스 전류
R	센서의 저항
k	열전달 계수
g	갭의 간격
t	센서의 두께
w	센서의 폭
D	센서의 높이
d	센서와 디스크 사이의 간격
V_{BLI}	BLI 전압
W_a	디스크의 평균 파형
x	센서와 디스크간의 간격의 변화량

1. 서론

하드디스크 드라이브 (hard disk drive, HDD)의 저장용량 및 저장밀도가 비약적으로 증가됨에 따라 헤드와 디스크의 부상높이(flying height)를 가능한 줄이려는 노력이 계속적으로 시도되고 있다. 현재 대부분의 HDD 업체에서 채택하고 있는 자기저항(magnetoresistive, MR) 헤드의 경우 부상높이가 50nm 정도이며 계속적으로 감소하고 있는 추세이다. 부상높이가 감소함에 따라 헤드와 디스크 사이에서 발생하는 마모, 마찰 등의 신뢰성 문제⁽¹⁾ 뿐만 아니라 헤드의 부상특성에 대한 디스크 표면의 토포그래피(topography)의 영향이 점점 증가되고 있다.⁽²⁾ 디스크 토포그래피가 헤드의 동적 부상특성에 미치는 영향에 관해서는 이미 많은 연구가 진행되어 왔다. Mitsuya 등⁽³⁾은 디스크의 표면 조도가 헤드의 부하 하중 및 완충 효과에 미치

* 회원, 삼성전자 스토리지 사업부 개발실
E-mail : shchoa@sisa.samsung.com
TEL : (0331)200-4749 FAX : (0331)200-3160

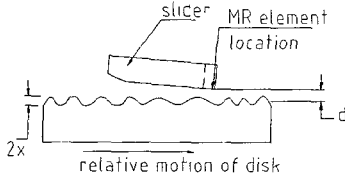


Fig. 1 MR head flying over a rotating disk

는 영향에 관하여 연구하였으며 매끄러운 표면이 적은 완충 효과를 갖고 있음을 이론적으로 증명하였다. Suzuki 등⁽⁴⁾은 디스크의 텍스처링(texturing) 및 재질 등이 헤드의 진동에 미치는 영향에 관해서 실험적인 연구를 하였다. Zhu 등⁽⁵⁾은 디스크 토포그래피 중 헤드의 길이와 비슷한 파장을 갖는 표면 변화량이 헤드의 부상특성에 매우 큰 영향을 주고 있음을 실험적으로 증명하였다. 특히 자기저항 헤드를 사용한 경우 디스크 표면의 토포그래피가 매우 중요하게 되는데 이는 디스크 토포그래피가 헤드/디스크 사이에 존재하는 유체유동에 영향을 미치기 때문이다. 자기저항 헤드에서 기록재생(read)용으로 사용되는 자기저항 센서는 열에 매우 민감하여 주위의 유체유동의 변화로부터 기인한 열적 변화가 있을 경우 헤드의 전기적인 재생 신호의 변형을 초래한다. 이러한 현상을 자기저항 헤드의 열적 불안정성(thermal instability) 현상이라고 한다.^(6,7) Fig. 1에서와 같이 헤드가 디스크 위를 부상하고 있을 때 디스크의 토포그래피로 인하여 헤드의 부상높이는 계속 변화하게 되며 이에 따라 헤드/디스크 사이의 유체유동의 변화로 자기저항 센서의 온도가 증가 또는 감소하게 된다. 자기저항 센서의 온도의 변화는 자기저항 센서의 저항의 변화를 초래하고, 이에 따라 재생 신호(readback signal) baseline의 왜곡을 초래하게 되어 드라이브에 에러를 발생시킨다. 이러한 현상을 베이스라인 안정성(baseline instability, BLI) 혹은 baseline wandering 현상이라고 한다. 가령 디스크 표면의 돌출 부위를 헤드가 통과할 경우 헤드/디스크의 간격이 감소되면서 유속이 순간적으로 증가되고 자기저항 센서부를 냉각시키는 효과를 초래하게 되며, 이에 따라 신호의 baseline이 순간적으로 왜곡되는 것이다. BLI 현상의 특성 및 방지를 위한 전기적 회로의 구성 등에 관해서는 최근 많은 연구가 수행되고 있다. 특히 Sawatzky⁽⁸⁾는 헤드/디스크 간의 열적 평형 상태를 고려한 이론적인 수식을 통하여 BLI 현상에 영향을 미치는 인자들에 관하여 고찰하였다.

Sawatzky는 정상적인 바이어스 전류하에서 자

기저항 헤드의 센서 온도가 회전하는 디스크의 온도보다 크다고 가정하고, 바이어스 전류로 인하여 센서로 유입된 열이 헤드와 회전하고 있는 디스크로 전달된 열과 동일하다고 가정을 하여 센서의 온도를 다음의 인자들로 나타내었다.

$$\Delta T_s \approx \frac{i^2 R k_{hd} t g^2}{k_o^2 w D^2} \frac{x}{d^2} \quad (1)$$

여기서, g 는 갭 두께, d 는 헤드와 디스크의 간격, x 는 그 간격의 변화량, k_o 는 슬라이더의 열전달 계수, k_{hd} 는 헤드와 슬라이더 사이의 열전달 계수를 나타낸다.

한편 BLI 전압의 변화량은 아래와 같이 나타낼 수가 있다.

$$\Delta V_{BLI} = i R \beta \Delta T_s \quad (2)$$

여기서 β 는 비례상수이며, $R = \frac{\rho W}{Dt}$ 이며, ρ 는 자기저항 센서의 저항이다.

식 (1)을 식 (2)에 대입하면 BLI의 변화량은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta V_{BLI} = i^3 \left(k_{hd} \right) \left(\frac{\rho^2 \beta}{k_o^2} \right) \left(\frac{w g^2}{t D^4} \right) \frac{1}{d^2} x \quad (3)$$

위 식으로부터 BLI 전압의 변화량은 바이어스 전류, 헤드와 디스크 사이의 열전달 계수, 자기저항 헤드의 재질 및 제원, 그리고 헤드와 디스크 사이의 간격의 변화량에 비례한다는 것을 알 수 있다.

본 연구에서는 앞서 서술된 기존의 연구 결과를 토대로 BLI에 영향을 주는 인자들을 실험적으로 연구하였다. 특히, 서로 다른 표면 토포그래피를 갖는 여러 종류의 박막 디스크를 이용하여 헤드와 디스크 사이의 간격의 변화량, 즉 디스크 표면의 토포그래피가 BLI에 미치는 영향을 중점적으로 고찰하였다. 또한 디스크 토포그래피가 디스크 제조공정을 거침에 따라 변해가는 과정을 살펴보고 제조 시 BLI을 줄이기 위한 방법을 고찰하여 보았다.

2. 실험조건 및 측정방법

2.1 Baseline instability 전압의 측정

Baseline instability 전압의 측정은 Fig. 2와 같이 Guzik 1701 spinstand, Universal pre-amp 6와 디지털 오실로스코프를 이용하여 수행되었으며 baseline instability 전압은 다음과 같이 정의된다.

$$V_{BLI} = (V_{TAA} - V_{Noise})$$

여기에서 V_{TAA} 는 헤드의 평균 출력 전압이며, V_{Noise} 는 peak-to-peak 노이즈 전압이다. 통상적으로 노이즈는 pre-amp의 노이즈 및 다른 전자 주변 장치에서 기인한 노이즈의 합으로 구성된다. 우선 헤드와 디스크를 Guzik spinstand에 장착하고 특정 반경의 트랙을 DC 신호로 기록한 후 디스크의 V_{Noise} 를 측정하였다. 그 후 특성 주파수로 bit 패턴이 11111111인 신호 패턴을 기록한 다음, 헤드에 10 mA의 바이어스 전류를 인가하여 평균 출력 전압 V_{TAA} 를 측정하였다. 이렇게 구한 V_{TAA} 에서 노이즈 성분인 V_{Noise} 를 빼면 순수한 baseline instability 전압이 얻어진다. 디스크의 전 트랙에 대하여 BLI 전압을 측정하는 것은 매우 많은 시간이 소요됨으로 본 실험에서는 디스크의 바깥 영역 (outer diameter, OD), 즉 $r=44.4$ mm과 중간 영역 (middle diameter, MD), 즉 $r=31.9$ mm에서 BLI 전압을 각각 측정하였으며 기록주파수는 OD에서는 79.69 MHz, MD에서는 54.35 MHz였다. 한편 바이어스 전류가 BLI 전압에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 14 mA의 높은 바이어스 전류를 인가한 실험도 추가하였다. 본 실험에 사용된 자기저항 헤드는 Al_2O_3 -TiC 재질로 만들어진 약 2 mm x 1.6 mm 크기의 나노-슬라이더 (nano-slider)이며, 디스크 회전속도 5400 rpm에서 약 40 nm (1.6 μ in)의 부상높이를 갖도록 설계되어 있다. 디스크 샘플은 여러 디스크 업체에서 생산된 95 mm 크기의

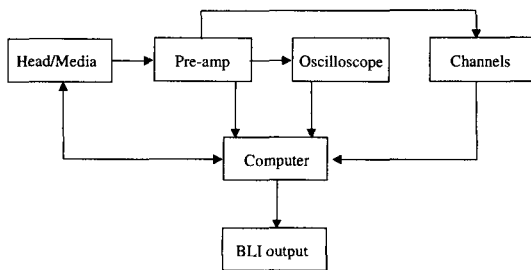


Fig. 2 A schematic of experimental set-up to measure the baseline instability or instability

알루미늄 디스크이며 주로 보자력이 2500에서 2600 Oe, Mrt가 0.6에서 0.65 memu/cm²의 값을 갖고 있다. 디스크의 기록밀도는 평균 2 Gb/in²이며 트랙의 피치는 2.5 μ m였다.

2.2 디스크 표면 토포그래피의 측정

표면 토포그래피의 변화량이라 함은 여러 파장을 갖는 표면요철 변화량의 합으로 이루어진 통계적인 개념이다. 일반적으로 파장의 길이에 따라 짧은 파장 성분의 조도(roughness), 긴 파장 성분의 파형(waviness), 그리고 보다 큰 파장 성분인 runout 또는 평탄도(flatness)의 3 분류로 나누어진다. 통상적으로 HDD 분야에서 디스크 표면의 조도는 차단(cut-off) 주파수, 즉 최대 파장이 25 μ m (0.025 mm) 이하인 표면의 변화량으로 정의된다.⁽⁹⁾ 반면에 표면의 파형은 주로 사용된 슬라이더의 크기와 비슷한 파장을 갖는 표면의 변화량으로 정의된다. 따라서 본 연구에서는 나노 크기의 슬라이더가 사용되었으므로 나노 슬라이더의 크기 (즉 2 mm)의 1/5에서 2.5 배 사이, 즉 0.4에서 5.0 mm의 파장을 갖는 표면의 변화량을 파형(waviness)이라 정의하였다. 한편 파형 보다 큰 파장을 갖는 표면의 변화량인 runout이나 평탄도는 주로 디스크의 휨이나 디스크 클램프에 의한 potato chip 형태로 나타나는 변형이며 실제적으로 BLI의 변화를 일으키는 파장 보다 훨씬 큼으로 본 논문에서는 무시하였다.

표면 토포그래피의 측정에는 주로 측침(stylus tip)을 이용한 표면 조도 측정기(profilometer)와 광학을 이용한 측정장비가 사용되는데 측정 정밀도, 측정 면적 등에 따라 그 사용이 제한된다. Table 1은 각 측정 장비의 정밀도 및 측정 면적을 표시하였다. 보통 측정 범위가 매우 작고 정밀한 측정을 요하는 경우는 표면 조도 측정기나 AFM (atomic force microscope)을 사용하며 측정범위가 큰 경우는 광학 측정장비를 사용한다. 따라서 파장이 25 μ m 이하인 표면조도는 주로 다이아몬드 침을 이용한 측침 방식의 표면 조도 측정기를 주로 사용하고 있으며 본 연구에서는 직경 0.2 μ m의 다이아몬드 침을 사용한 Tencor P2 표면조도 측정기를 사용하였다. 한편 측침 표면조도 측정기를 사용한 경우 그 측정 범위가 작고 측정 속도도 매우 느리기 때문에 디스크 표면 전체의 토포그래피를 분석하는 데에는 한계가 있다. 따라서 디스크 표면 전체의 토포그래피를 한번의 측정으로 가능한 Phase Shift Technology사의 OptiFlat 측정장비를 이용하여 파장이 0.4 mm에서 5.0 mm인 표면의 파형을 측정하였다. 이 장비는 일종의 위상 변환 방식의

Table 1 Various instruments for measuring surface topography

Instrument	Field of view (μm)	Resolution (μm)	Pixel size (μm)
Stylus Profile	5 by 150,000	0.4	0.2 μm diamond tip
AFM	100 by 100	0.04	0.02 μm diamond tip
Optiflat	100,000 by 100,000	400	200 by 200
MicroXam	2250 by 2250	10.4	4.4 by 4.2

Mach-Zehnder 간섭계(interferometer)로서 백색광을 광원으로 사용한 광학장비이다. 한편 Optiflat 장비는 파장이 400 μm (0.4 mm) 이하에서의 표면 변화량 또는 파형을 측정할 수 없는 한계를 가지고 있음으로 Optiflat 과 유사하면서 보다 정밀도가 큰 장비인 MicroXam (Table 1 참조)을 사용하여 100 μm 에서 400 μm 사이의 파장을 갖는 파형을 측정하였다.

디스크 표면 파형의 측정은 디스크 전체 파형의 평균값, Wa 및 BLI가 측정된 특정 반경에서의 파형, 즉 반경이 32 mm 와 41.5 mm 에서의 파형인 Wmd, Wod 를 각각 측정하였다. BLI가 측정된 반경인 44.4 mm 대신 41.5 mm 를 사용한 이유는 반경 44.4 mm 지점이 디스크 바깥쪽의 끝 부분으로 측정 및 취급 시에 오염이 되어 측정값에 영향을 미칠 수 있음으로 디스크 약간 안쪽 부분인 41.5 mm 에서 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 BLI 와 표면 토포그래피

동일한 종류의 헤드를 사용하여 헤드의 재질 및 부상높이는 일정하다고 가정하고 헤드와 디스크 사이의 열전달 계수를 고려치 않으면 (열전달의 영향에 대해서는 후반부에서 서술되어 있다), 식 (3)에서의 BLI 의 변화량은 바이어스 전류와 표면 토포그래피의 변화량만의 비례식으로 나타낼 수 있다.

$$\Delta V_{BLI} = ci^3 x \quad (4)$$

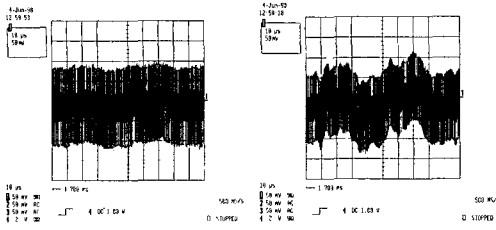
여기서 c 는 계수이다. 본 연구에서 토포그래피가 BLI 에 미치는 영향을 연구하기 위해서 서로 다른 표면 토포그래피를 갖는 4 종류의 디스크를 동일한 헤드를 사용하여 BLI 전압을 측정된 결과가 Table 2 에 나타나 있다.

Table 2 Baseline instability voltage at OD and MD zone with 10 mA and 14 mA bias current

Disk Types	Disk No.	V_{BLI}	V_{BLI}	V_{BLI}	V_{BLI}
		w/ 10 mA	w/ 14 mA	w/ 10 mA	w/ 14 mA
		at OD, r = 44.4 mm		at MD, r = 31.9 mm	
A	1	14.1	82.9	15.4	87.6
	2	11.6	68.8	13.5	82.9
	3	14.1	82.9	14.1	84.4
	AVG.	13.3	78.2	14.3	85.0
B	1	11.6	62.6	12.9	71.9
	2	9.8	43.5	11.0	47.3
	3	7.9	41.0	9.8	46.0
	AVG.	9.8	49.0	11.2	55.1
C	1	14.1	78.2	12.3	70.4
	2	16.6	103.2	14.8	87.6
	3	12.9	75.1	12.9	75.1
	AVG.	14.5	85.5	13.3	77.7
D	1	8.3	29.8	9.3	31.6
	2	8.3	27.1	8.5	29.8
	3	10.1	44.1	11.6	46.6
	AVG.	8.9	33.7	9.8	36.0

전술한 바와 같이 사용된 디스크는 자기적 성능이 유사하면서 (즉 기록밀도가 평균 2 Gb/in² 이며, 보자력이 2500 에서 2600 Oe 임) 토포그래피가 각기 다른 디스크이며, 각 디스크들의 토포그래피에 관한 데이터는 Table 3 에 나타나 있다. 바이어스 전류는 10 mA 와 14 mA 의 두 값을 사용하여 MD 와 OD 영역에서 각각 측정하였다. BLI 는 바이어스 전류가 증가함에 따라 매우 크게 증가함을 알 수 있다. 또한 대체적으로 MD 영역에서 약간 큰 값을 보여주고 있는데 그 이유를 명확하게 밝힐 수 없었다. BLI 전압은 D 타입의 디스크가 가장 적었으며, MD 영역에서는 A 타입의 디스크가, OD 영역에서는 C 타입의 디스크가 가장 컸다. 바이어스 전류가 증가됨에 따라 각 디스크의 BLI 전압의 차이도 크게 나타나고 있는데 Fig. 3 은 바이어스 전류가 증가함에 따라 신호의 왜곡, 즉 BLI 현상이 크게 되는 것을 보여주고 있다. 본 논문에는 포함시키지 않았지만 또 다른 연구[7]에서는 BLI 전압이 바이어스 전류의 3 승이 아닌 4.5 승에 비례함을 알 수 있었다. 이는 Sawatzky 가 제안한 식 (4)와 차이가 있다. 이러한 차이는 식 (4)에서는 자기저항 센서 및 헤드의 재질 특성이 일정하다고 가정한 반면, 실제의 경우 자기저항 센서의 온도가 증가하면 재질의 특성이 변하기 때문에 실제 측정값은 식 (4)와 차이가 날 수 있다.

Table 3 은 BLI 측정에 사용된 디스크들의 표면 토포그래피 변화량 즉, 조도와 파형을 측정된 값이 나타나 있다. 조도는 B 타입의 디스크가 가장



(a) 10 mA bias current (b) 14 mA bias current

Fig. 3 Examples of baseline instability signal. (i.e., the signal fluctuation)

켰으며 D 타입의 디스크가 가장 적었다. 반면에 파형은 C 타입의 디스크가 가장 컸으며 B 타입의 디스크가 가장 적었다. 따라서 각 디스크의 조도와 파형의 값에는 상관관계가 없음을 알 수 있다. 각 디스크의 평균 파형 값과 임의의 트랙에서 원주방향으로 측정한 파형의 값은 별로 차이가 나지 않았으며 Fig. 4 와 같이 좋은 상관 관계를 나타내고 있다.

한편 Fig. 5 는 OptiFlat 을 사용하여 측정된 표면 토포그래피 사진이다. Fig. 5(a)와 (b)는 표면 상태가 매우 좋은 디스크를 보여주고 있다. 반면에 Fig. 5(c)와 (d)의 경우 파형도 클 뿐만 아니라 알루미늄 기관을 연삭작업(grinding) 할 때 생성된 굵힌 자국이 뚜렷이 나타나고 있다. Fig. 5(d)의 C 타입 디스크의 경우 표면 토포그래피 사진이 완전치 못한 형상을 보여주고 있는데 이는 디스크가 전체적으로 변형된 경우, 즉 디스크의 평탄도가 일정량 이상을 초과하여 변형된 부분의 측정이 불가능하였기 때문이다. 실제로 파형이 낮은 디스크의 경우 일반적으로 굵힘 자국이나 변형 등이 없는 균일하고 매끈한 표면 토포그래피를 보여주고 있다.

Fig. 6(a)는 10 mA 의 바이어스 전류를 사용하여 OD 영역에서 측정된 BLI 전압과 표면 파형의 관계를 보여주고 있다. Fig. 6(b)는 바이어스 전류가 14 mA 로 증가되었을 때 BLI 가 증가하는 현상을 보여주고 있다. Fig. 7 은 MD 영역에서 측정된 BLI 전압과 표면 파형의 관계를 보여주고 있는데, Fig.6 과 마찬가지로 표면 파형이 증가하면 BLI 전압이 증가됨을 잘 나타내고 있다. Fig.6 과 Fig. 7로부터 특정 트랙에서 측정된 BLI 전압은 유사한 지점에서 측정된 원주 방향의 파형과 좋은 상관 관계를 나타내며, 따라서 파형이 큰 디스크는 BLI 전압도 크게 됨을 알 수 있다. 반면에 표면조도는 Table 3 에서 보듯이 BLI 와 상관 관계가 없었다. 결론적으로 BLI 는 파장이 0.4 mm 에서 5.0 mm 를

Table 3 Surface waviness and roughness (nm)

Disk types	Disk No.	Wa	Wmd	Wod	Ra
A	1	0.95	0.92	0.90	1.1
	2	1.00	0.88	1.02	1.3
	3	1.07	0.93	1.03	1.1
	AVG.	1.01	0.91	0.98	1.2
B	1	0.90	0.82	0.86	2.1
	2	0.77	0.69	0.66	1.5
	3	0.79	0.67	0.71	1.8
	AVG.	0.82	0.73	0.74	1.8
C	1	1.12	1.01	1.19	0.6
	2	1.26	1.08	1.28	0.6
	3	1.28	1.04	1.56	0.8
	AVG.	1.22	1.04	1.34	0.7
D	1	0.89	0.797	0.94	0.4
	2	0.76	0.68	0.79	0.5
	3	0.98	0.88	1.10	0.6
	AVG.	0.88	0.78	0.94	0.5

Wa, Wmd, Wod: surface waviness
Ra: surface roughness

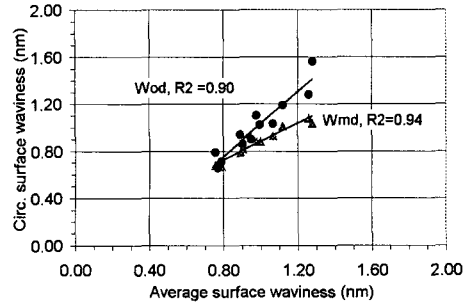


Fig. 4 Correlation of average surface waviness (Wa) to circumference surface waviness (Wod, Wmd)

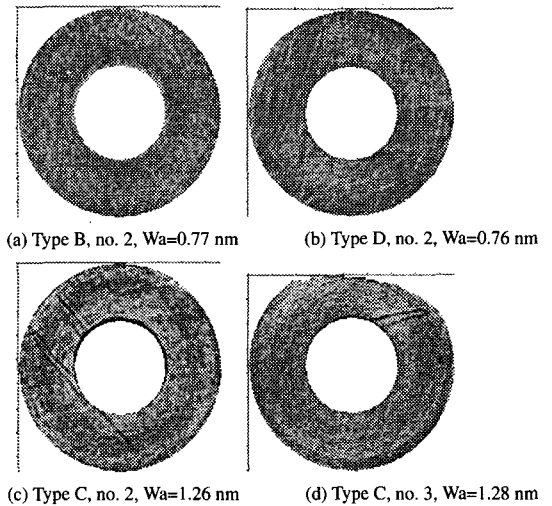


Fig. 5 Surface waviness maps of tested media

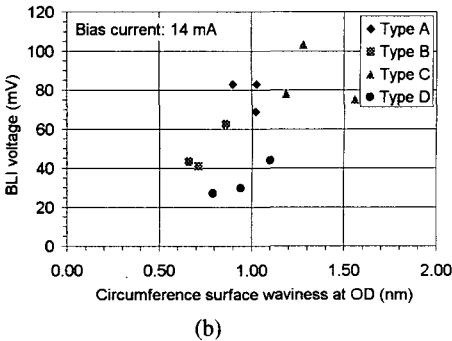
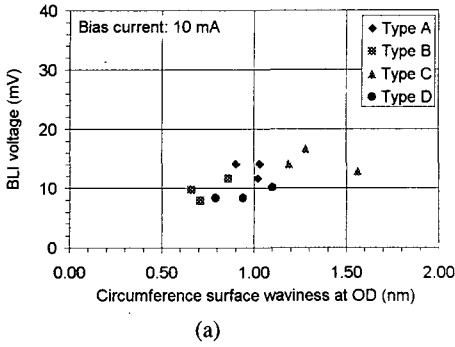


Fig. 6 Effect of surface waviness on baseline instability at OD zone

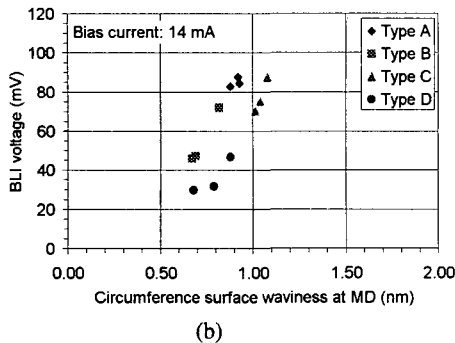
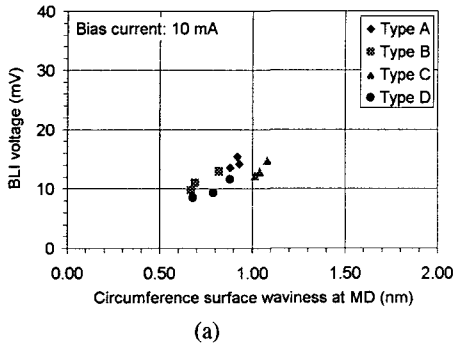
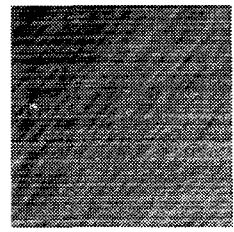


Fig. 7 Effect of surface waviness on baseline instability at MD zone



(a) Ra=5.5 Å, Wa=2.0 Å

(b) Ra=5.5 Å, Wa=3.5 Å

Fig. 8 Disk surface topography with different waviness

같은 파형에 비례함을 알 수 있으며 BLI 양을 줄이기 위해서는 표면조도 보다는 파형을 줄이도록 개선해야 된다. Fig. 8은 같은 표면조도를 갖으면서 다른 파형을 갖는 두 개의 표면 토포그래피를 보여주고 있다.

한편 Fig. 3의 BLI 전압의 출력 신호를 보면 신호의 주파수가 20 kHz로서 Sawatzky가 설명한 BLI의 주파수 100 또는 200 kHz 보다 낮다. 주파수 20 kHz는 5400 rpm으로 회전하는 디스크의 경우 ID 영역 ($r=21$ mm)에서는 0.1 mm, OD 영역 ($r=45$ mm)에서는 0.2 mm에 해당하는 파장이다. 이는 실험에 사용된 OptiFlat 장비에서 파형을 측정하기 위해서 사용된 최저 파장 0.4 mm보다 작은 것이다. 그러나 본 실험에서 사용된 디스크의 경우 0.1 mm 파장에서의 파형과 0.4 mm 파장에서의 파형은 별 차이가 없음이 확인되었으며 자세한 분석결과는 다음 장에 서술되어 있다.

BLI은 식 (3)과 같이 헤드/디스크 사이의 열전달 계수 k_{hd} , 그리고 헤드의 열전달 계수 k_o 에 비례한다. 헤드면에는 마찰 및 마모 특성을 개선하기 위하여 보통 100 Å 두께의 카본 코팅, 즉 주로 diamond-like-carbon (DLC) 코팅이 되어 있다. 또한 디스크에서도 자성층 위에 마모 및 마찰 특성을 향상시키기 위하여 DLC 코팅 (약 100 Å 두께) 및 윤활막 (약 15 Å 두께)이 형성되어 있다. 따라서 이러한 코팅의 재질 및 두께가 헤드/디스크의 열전달 특성에 영향을 미친다고 사료된다. Fig. 9는 동일한 디스크에서 윤활막의 두께를 변화시켰을 경우의 BLI 양을 측정된 결과이다. BLI은 디스크의 윤활막의 두께에 거의 변화가 없었다. 또한 헤드면 위에 증착된 DLC 코팅의 두께 및 디스크 DLC 코팅의 두께 또는 재료적 특성을 변화시켰을 경우에도 BLI에 별 영향이 없음을 알 수 있었으며 그 결과를 본 논문에서는 생략하였다.

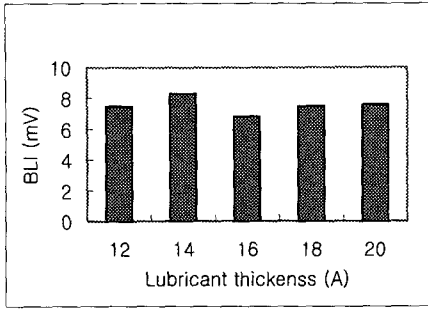


Fig. 9 Baseline instability with change of lubricant

만일 동일한 재질의 헤드 및 일정한 바이어스 전류를 사용한 경우, 즉 정상적인 HDD의 경우, BLI을 줄이는 가장 효과적인 방법은 디스크의 파형을 감소시키는 것이며 헤드/디스크의 윤활막, 코팅층에는 별 영향이 없다. 물론 BLI 현상이 가장 적은 헤드를 선택하여 사용할 수도 있으나 이 경우 헤드의 자기적 특성이 변할 가능성도 고려해야 됨으로 디스크의 파형을 감소시키는 것이 가장 효과적인 방법이라고 사료된다.

3.2 디스크 파형의 변화

박막 디스크 제조 공정의 순서는 주로 알루미늄 기판의 연삭작업(grinding), Ni-P 막 증착, Ni-P 막의 폴리싱(polishing), 텍스처링(texturing), 자성막의 증착, 윤활막의 증착으로 구성되어 있다. 이들 공정 중에서 디스크 표면의 토포그래피를 변화시키는 공정은 주로 알루미늄 기판의 연삭작업, Ni-P 막의 폴리싱, 텍스처링 등 주로 표면의 가공과정이다. 디스크 표면 가공의 주요 목적은 표면의 요철을 제거하여 낮은 부상높이를 갖도록 함에 있다. 이를 위해 연삭작업에서 텍스처링 과정으로 갈수록 적은 크기의 연삭분말 또는 슬러리(slurry) 등을 사용하여 표면을 매끄럽게 하는 것이 중요하다. 그러나 표면가공의 방법 및 과정의 차이에 따라 표면 토포그래피가 변하게 되는 데 Fig. 8과 같이 동일한 표면 조도를 갖더라도 다른 파형을 갖는 표면이 생성되게 된다.

각 공정, 특히 연삭작업, 폴리싱 및 텍스처링 공정에서의 디스크 표면의 토포그래피 즉, 표면의 변화량(조도와 파형)이 변화는 과정이 Fig. 10에 나타나 있다. Fig. 10에서 세로축은 표면의 변화량을 나타내며, 가로축은 파장을 나타낸다. 전술한 바와 같이 파장이 25 μm 이하인 표면의 변화량, 즉 조도는 Tencor를 이용하여 측정하였으며 (Fig.10에서 A로 표시된 영역), 파장이 400 μm

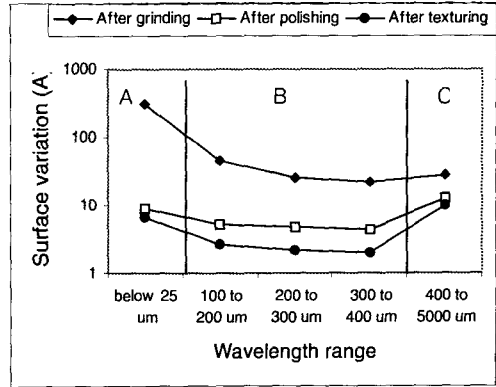


Fig. 10 Surface topography variation (unit: Å) during disk manufacturing processes; after grinding, after polishing, and after texturing process

에서 5.0 mm (5000 μm)인 표면의 변화량, 즉 파형은 OptiFlat을 이용하여 측정하였다(Fig. 10에서 C영역). 파장이 100 μm에서 400 μm인 세분화된 표면의 변화량은 MicroXam을 이용하여 측정하였다. 알루미늄 기판을 연삭작업 한 후에는 특히 조도가 매우 큼을 알 수 있다. 폴리싱 과정 중에는 표면 조도가 크게 낮아지고 파형도 반으로 감소되고 있다. 마지막 과정인 텍스처링 과정에서는 조도 및 파형의 변화가 매우 미미하다. 따라서 파형은 표면가공 과정 중에서 점진적으로 감소하고 있으나 파형 감소를 위한 효율적인 방법은 알루미늄 기판의 연삭작업 및 Ni-P 폴리싱 과정에서 파형을 감소시키는 것임을 알 수 있다.

한편 Fig. 10에서 100 μm에서 400 μm 파장사이에서 100 μm 구간으로 세분화하여 측정한 표면 변화량의 값은 일정하며 400 μm에서 5.0 mm의 파장을 갖는 표면의 변화량과 비교하여 보았을 때 약간 적은 값을 보이고 있다. 그러나 400 μm에서 5.0 mm의 파장을 갖는 표면의 변화량의 경우 그 파장 사이의 모든 값들이 누적된 것임으로 약간 큰 값을 나타낼 수 있다고 사료된다. 따라서 본 실험에 사용된 디스크의 경우 0.1 mm에서 5.0 mm의 파장을 갖는 표면 변화량과 0.4 mm에서 5.0 mm의 파장을 갖는 표면의 변화량은 거의 동일할 것으로 생각된다.

4. 결론

본 연구에서는 최근 자기저항 헤드 사용 시 중요한 문제로 부각되고 있는 baseline instability 현상에 관한 실험적인 연구를 하였다. 특히 디스크 표

면의 토포그래피가 BLI 현상에 미치는 영향을 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) BLI 현상은 파장이 0.4 mm 에서 5.0 mm 인 디스크 표면의 파형에 비례한다. 따라서 파형이 증가하면 BLI 현상도 증가된다. 반면 표면조도는 BLI 현상에 영향을 미치지 않는다. 또한 헤드/디스크의 코팅막 또는 윤활막의 두께 및 재질은 BLI 현상에 영향을 미치지 않는다. 따라서 동일 헤드의 일정 바이어스 전류를 사용한 드라이브의 경우, BLI 현상을 줄이는 가장 효과적인 방법은 디스크 표면의 파형을 감소시키는 것이다.

(2) BLI의 주파수는 약 20 kHz 이며 바이어스 전류가 증가하면 BLI 전압도 증가한다.

(3) 표면 파형은 디스크 제조 공정 시 점진적으로 변하며, 주로 연삭 작업이나 폴리싱 공정에 많은 영향을 받는다. 따라서 자기저항 드라이브에서 디스크의 제조 및 평가 시 파형의 중요성이 반드시 고려되어야 된다.

후 기

본 연구를 위하여 많은 실험과 협조를 해준 임병원 박사, Zhaohui Li, 그리고 이형제 박사님께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) 한동국, 이상민, 전규찬, 김대은, 1999, "가혹 환경에서의 HDI Tribology 특성," 대한기계학회 1999년도 춘계학술대회논문집 A, pp. 323~328.
- (2) Bhushan, B., Kristian, T., 1989, "Roughness-Induced Sheared Squeeze-Film Effect in Magnetic Recording-Part I: Analysis," *ASME J. Tribology*, Vol. 111, pp. 220~227.
- (3) Mitsuya, Y., Hayashi, T., 1990, "Transient Response of Head Slider When Flying Over Textured Magnetic Disk Media," *Proceedings Japan International Tribology Conf.*, 1990, Vol. III, pp. 1941~1946.
- (4) Suzuki, S., Nishihira, H., 1996, "Study of Slider Dynamics Over Very Smooth Magnetic Disks," *Trans. of the ASME J. of Tribology*, Vol. 118, pp. 382~387.
- (5) Zhu, L-Y., Bogy, D. B., 1989, "Head-Disk Spacing Fluctuation Due to Disk Topography in Magnetic Recording Head Disk Files," *Tribology and Mechanics of Storage Systems VI*, ASLE SP-21, pp. 160~167.
- (6) Klassan, K. B., van Peppen, J. C. L., 1997, "Electronic Abatement of Thermal Interference in (G)MR Head Output Signals," *IEEE Trans. Magnetics*, Vol. 33, No. 5, pp. 2611~2616.
- (7) Wang, P., Yim, P., Li, Z., and Cho, K. Y., "Baseline wandering and Surface Waviness in High Density Magnetic Recording for MR Head Application," To be published.
- (8) Sawatzky, E., 1998, "Thermal Asperities: MR Head Face New Dangers," *Data Storage*, Vol. 5, No. 3, pp. 49~54.
- (9) ANSI Standard, 1994, "Surface Texture," *ASME B46.1*.