

미세 입자에 의한 thermal asperity의 민감도 해석 및 감소 방안

좌 성 훈
삼성전자 중앙연구소

(2000년 9월 22일 받음, 2000년 11월 15일 최종수정본 받음)

먼지 입자에 의한 thermal asperity(TA)의 발생은 드라이브의 신뢰성에 큰 영향을 미친다. 본 논문에서는 드라이브의 입자 분사 시험 등을 통하여 헤드 및 디스크의 TA 민감도를 분석하고 TA 발생의 중요 인자들을 고찰하였다. 헤드의 TA 민감도는 MR 및 GMR 센서의 재질 및 특성에 많은 영향을 받으며 특히 바이어스 전류가 증가함에 따라 TA 민감도는 증가한다. 한편 슬라이더의 ABS 형태를 적절히 설계 함으로써 TA를 어느 정도 감소시킬 수 있다. 디스크의 경우 디스크 카본 overcoat층의 scratch 저항력을 증가시킴으로써 TA의 발생을 감소시킬 수 있다. 그러나 먼지 입자가 디스크 표면에 부착되는 정도를 결정하는 표면에너지는 TA 발생에 거의 영향을 미치지 않는다. 이는 TA 발생을 초래하는 먼지 입자의 크기가 1~2 μm 로서 디스크 표면의 윤활막에 의한 모세관력이 너무 커서 입자들이 디스크 표면으로부터 이탈할 수 없기 때문이다.

I. 서 론

하드 디스크 드라이브(HDD)에서 미세입자에 의한 오염은 드라이브의 신뢰성 및 수명에 큰 영향을 미친다. 미세 입자는 Fig. 1에 나타난 슬라이더/디스크 인터페이스에 유입되어 슬라이더나 디스크 표면을 오염시키고, HDD내에 기록된 데이터의 손상을 초래한다[1, 2]. 최근 저장 밀도를 증가시키기 위하여 헤드의 부상높이를 줄이고, 자기저항 헤드(magnetoresistive head, MR head) 또는 거대 자기저항 헤드(giant magnetoresistive head, GMR head)의 사용이 보편화되면서 입자 오염이 심각한 문제로 부각되고 있다. MR 헤드의 경우 기록 방식은 기존의 박막헤드(inductive head)와 비슷하지만 기록된 정보를 읽을 때는 pole tip사이에 있는 자기저항소자(MR element)가 이용된다. 자기저항소자는 자장이 변하면 저항이 변하는 물질로서 열이 발생하면 역시 저항이 변하게 된다. 동작 중인 헤드가 디스크 표면에 존재하는 먼지입자나 헤드 부상높이보다 큰 오염물질들과 충돌할 경우 접촉면상에 순간적으로 열이 발생하게 되고 자기저항소자의 저항의 변화를 초래한다. 이에 따라 재생신호(readback signal)의 왜곡을 초래하게 되어 드라이브에 에러를 발생시킨다. 이러한 현상을 TA(thermal asperity) 현상이라고 부르며, HDD의 안정성을 저해하는 가장 큰 요인으로 드라이브 제조회사의 관심사 중의 하나이다[3, 4]. Fig. 2는 헤드가 먼지 입자와 충돌한 후 발생된 TA 신호의 전형적인 예를 보여주고 있는데 순간적으로 헤드의 출력 신호가 증폭되어 왜곡

됨을 잘 나타내고 있다.

TA는 일반적으로 두 가지 원인에 의하여 발생된다. 첫째는 디스크 표면에 존재하는 결함, 즉 스크래치(scratch) 및 오염물질 등에 의하여 발생된다. 이 경우에는 드라이브 제조시에 burn-in 과정을 통하여 결함 부분에 데이터가 기록되지 않도록 결함 부분을 mapping 처리한다. 따라서 이 경우는 별로 문제가 되지 않는다. 둘째는 드라이브를 생산하여 소비자에게 전달된 후 발생하는 추가적인 TA들이다. 이 경우는 주로 제조 과정 등에서 드라이브 내부로 들어간 미세 먼지입자 및 드라이브 부품에 이미 부착되었던 미세 입자 또는 오염물질들이 드라이브 동작 중에 디스크 표면으로 떨어지면서 부착되고, 드라이브 동작시에 헤드와 충돌하면서 새로운 TA를 발생시키는 것이다. 따라서 TA를 감소 또는 제거하기 위해서는 부품 및 제조 공정의 청정도(cleanliness) 유지가 중요하다. 드라이브의 셀(seal) 및 필터링 시스템을 개선하는 것도 하나의 방법이다. 그러나 청정도 유지에는 한계가 있음으로 드라이브 내에 미세입자가 전혀 존재하지 않도록 하는 것은 불가능하며, 따라서 어느 정도의 미세입자가 디스크 표면에 부착되게 된다. 따라서 TA를 감소를 위한 연구는 TA가 발생하는 순간 발생된 신호의 왜곡을 전기적인 방법으로 보정하는 신호처리 방법[3] 등에 중점을 두고 있다. 한편 최근에 슬라이더/디스크 인터페이스에서의 입자 유체유동 해석을 바탕으로 슬라이더 ABS(air-bearing-surface) 형상을 적절히 설계함으로써 입자의 영향을 최소화할 수 있는 방안이 제안된 바 있다[5]. 즉 슬라이더의

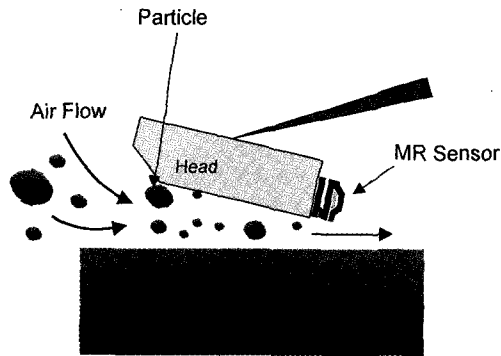


Fig. 1. Schematic diagram of the slider-disk interface with contamination particles.

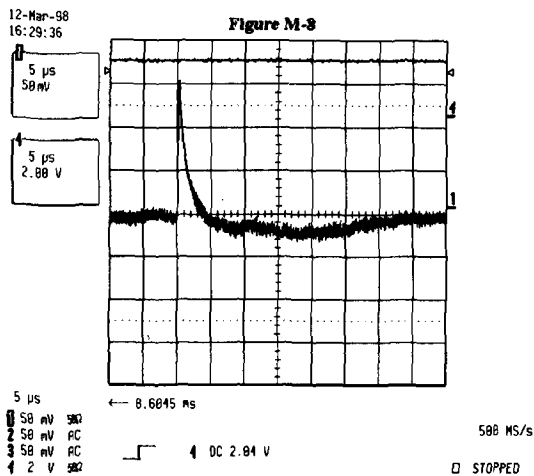


Fig. 2. Readback signal of a MR head during thermal asperity phenomenon.

ABS형상을 적절히 설계하여 슬라이더와 디스크 사이를 통과하는 입자들이 슬라이더의 pole tip, 즉 MR 센서 부근을 통과하지 않도록 하여 MR 센서와 입자와의 충돌을 회피시킴으로써 TA의 발생을 방지할 수 있음을 제안하였다. 그러나 아직까지 TA 문제를 해결하기 위한 종합적인 연구가 부족한 실정이다. 본 논문에서는 여러 종류의 헤드 및 디스크를 사용하여 헤드 및 디스크의 설계 인자가 TA 발생에 미치는 영향을 고찰하였으며 특히 MR 헤드와 GMR 헤드의 TA 민감도에 대한 분석을 시도하였다. 또한 TA가 드라이브 내에서 발생하는 실제 상황과 유사한 조건으로 실험하기 위하여 각기 다른 헤드 및 디스크로 조립된 드라이브를 입자 분사 챔버에 넣어 TA의 발생을 관찰하였다.

II. 실험

2.1. 헤드 및 디스크

본 실험에서는 상용화된 4가지 종류의 헤드가 사용되었으며, 3가지 종류의 MR 헤드와 1가지 종류의 GMR 헤드가 사용되었다. 사용된 각 헤드의 재원이 Table 1에 나타나 있으며 Fig. 3에 각 헤드 슬라이더 ABS의 형상이 나타나있다. 타입 A 헤드와 타입 B 헤드는 각기 다른 특성을 갖는 MR 센서를 사용하고 있으며 헤드의 ABS 형상도 각기 다르다. 타입 C 헤드는 MR 센서 및 기타 재원이 타입 A 헤드와 모두 동일하고 단지 ABS 형태만 타입 B 헤드의 ABS를 채용한 것이다. 타입 D 헤드는 GMR 센서를 사용한 헤드이다. 헤드는 Al_2O_3 -TiC 재질로 만들어졌으며 MR 헤드의 경우 2mm(1.6mm 크기의 50% 나노 슬라이더(nano-slider)이며, GMR 헤드(타입 D 헤드의 경우 1mm(1.2mm 크기의 30% 피코 슬라이더(pico slider)이다. 각 헤드는 디스크 회전속도 5400 rpm에서 약 40 nm(1.6 μ m)의 부상높이를 갖도록 설계되어 있다.

본 실험에 사용된 디스크는 상용화된 4가지 타입의 디스크이며, 지름이 95 mm인 AIMg/NiP 재질을 사용하였으며 laser zone texture를 parking zone에 적용하였다. 디스크는 카본 overcoat의 보호막으로 코팅되었고 그 윗 표면은 perfluoropolyether(PFPE) 종류의 윤활유가 도포되어 있다. 카본 overcoat 층의 두께는 평균 100~150 Å, 윤활막의 평균 두께는 대략 15 Å이었으며, 디스크의 표면조도는 평균 10 Å이었다. 윤활막의 두께는 fourier transform infra-red(FTIR) spectroscopy를 이용하여 측정하였으며, 표면조도는 atomic force microscopy(AFM)를 이용하여

Table 1. Related parameters of four types of heads

Head type	Read sensor	Bias current (mA)	ABS shape	Slider size
Type A	MR	10	see Fig. 3(a)	50% nano
Type B	MR	10	see Fig. 3(b)	50% nano
Type C	MR	10	see Fig. 3(c)	50% nano
Type D	GMR	5	see Fig. 3(d)	30% pico

Table 2. Design parameters of four types of disks used

Disk type	Lubricant type	Lubricant thickness (Å)	Surface roughness (Å)	Surface energy (erg/cm ²)
Type A	Zdol 2500	15	11	19
Type B	AM 2001	14	6	25
Type C	Zdol 2000	18	5	22.9
Type D	Zdol 2000	22	10	18.7

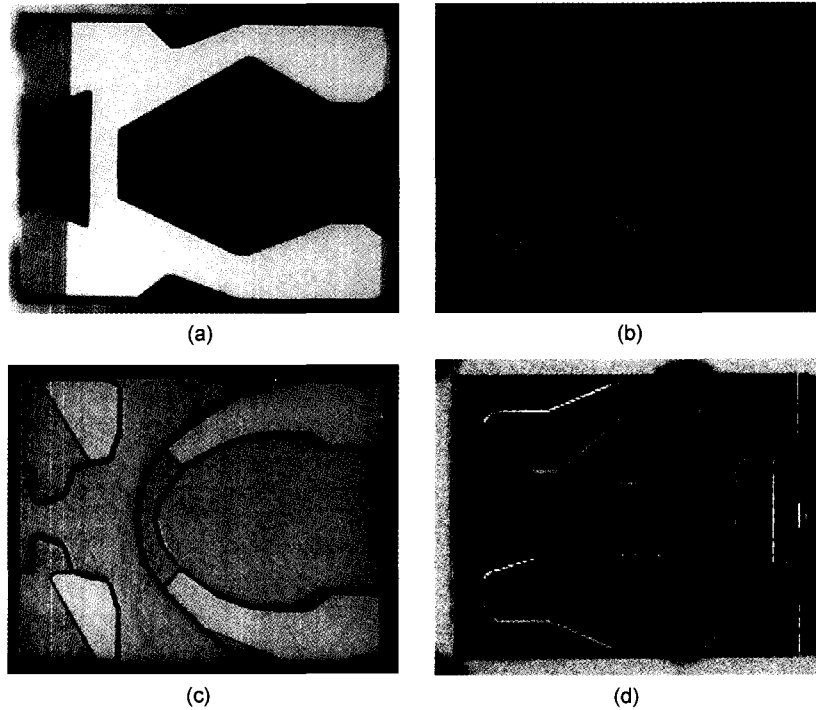


Fig. 3. Pictures of air-bear-surface (ABS) for four types of heads: (a) type A head (b) type B head (c) type C head (d) type D head.

측정하였다. 사용된 각 디스크의 제원이 Table 2에 나타나 있다. 디스크는 주로 보자력이 2700에서 2800 Oe, Mr가 0.6에서 0.65 memu/cm²의 값을 갖고 있다. 디스크의 기록 밀도는 평균 4.3 Gb/in²이며 트랙의 피치는 2.0 μm였다.

2.2. 드라이브 입자 분사 시험

HDD 내에 입자를 주입시키는 방법은 주로 aerosol 기술이 많이 사용된다[6]. 그러나 이 방법은 매우 정교하고

복잡한 실험 장치를 필요로 한다. 따라서 본 연구에서는 입자 분사 챔버를 제작하여 HDD내에 입자를 주입시키는 방법을 처음으로 채택하였다. 여러 차례의 실험결과 이 방법이 기존 aerosol 방법에 비하여 매우 간편하며 반복성 또한 매우 높음을 알 수 있었다. 본 연구에서 고안한 입자 분사 챔버의 도식적 개략도가 Fig. 4에 나타나 있다. 챔버는 드라이브 주변에 균일한 환경 조건을 조성하기 위하여 제작되었으며 3개의 서브 챔버로 나누어져 있다. 좌측의

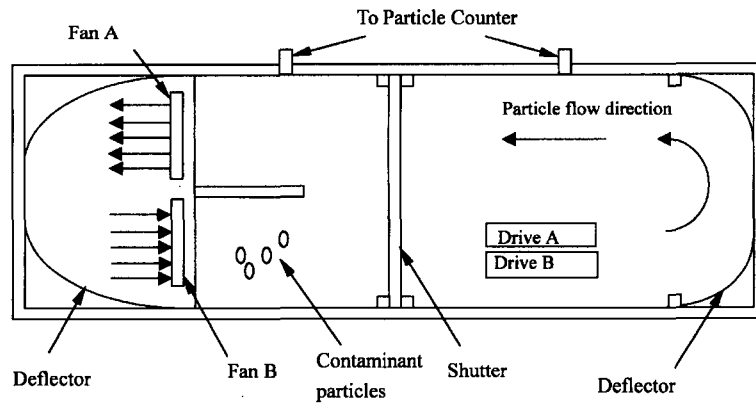


Fig. 4. Schematic configuration of a particle injection chamber.

챔버는 2개의 팬과 공기의 유동을 유도하기 위한 deflector로 이루어져 있다. 시험할 드라이브는 드라이브 측면의 clock 포트의 비닐 테이프를 제거한 후 우측 서브 챔버에 위치해 놓는다. 챔버의 팬을 가동시킨 후 입자들을 좌측 챔버에 주입하게 되면 입자들이 챔버 내에서 공기 유동에 의하여 섞이게 된다. 입자들이 균일하게 섞이도록 일정 시간을 기다린 후 셔터를 열면 입자들이 순환되면서 자연적으로 우측 챔버에 있는 드라이브의 clock 포트 구멍을 통하여 드라이브 내로 주입된다. 이때 laser particle counter(LPC)를 이용하여 챔버 내의 입자의 크기 및 개수를 측정한다. 한편 LPC의 측정 결과를 바탕으로 셔터를 개폐하는 시간을 조절하여 챔버 내의 먼지 입자들의 농도를 효과적으로 조절할 수 있었다.

TA 측정은 드라이브 내에 입자들이 들어간 후 드라이브를 꺼내어 드라이브 내에 내장된 TA 검출 프로그램을 이용하여 드라이브를 동작시키면서 TA scan하여 발생한 TA의 개수를 측정한다. TA의 발생의 기준은 정상 출력에서 2.5배에 높은 출력이 발생되었을 경우 및 decay 시간을 고려하여 TA로 간주하였는데 정확한 검출 방법은 본문에서는 생략하였다. 그 후 드라이브를 챔버에 다시 넣고 입자들을 주입시킨다. 이러한 실험을 8번 정도 반복하였으며 만일 드라이브의 TA 개수가 255개를 넘은 경우에는 드라이브가 자동적으로 fail되어 실험을 중단하였다.

실험에 사용된 오염 입자는 평균 지름이 1 μm의 분포를 갖는 Al₂O₃ 입자가 사용되었다. Al₂O₃는 슬라이더의 재료 및 디스크 가공 시 연마재로 사용되고 있으며 TA를 일으키는 주된 입자들 중의 하나이다[1]. 1 μm 크기의 입자를 사용한 이유는 드라이브 내에서 발견된 TA는 주로 1 μm 크기의 입자이기 때문인데 이는 본 연구 외에서 기타 다른 연구[7]에서도 규명된 바 있으며, 그 이유는 주로 헤드와 디스크 사이의 간격에 기인한 것으로 밝혀졌다.

2.3. Bump 디스크 단품 시험

MR 헤드 및 GMR 헤드의 TA에 대한 민감도 분석을 좀더 정밀하게 수행하기 위하여 먼지 입자 대신에 bump 디스크를 이용하였다. 즉, 디스크의 data zone 상의 임의의 위치에 bump를 만들어 헤드가 디스크 위를 부상 시 헤드를 bump에 충돌하게 하여 TA를 발생시켰다. Bump의 형상은 Fig. 5와 같이 도넛(또는 crater) 형태의 bump로서 bump의 높이는 헤드의 부상높이 보다 큰 51 nm (2 μm)였으며 지름은 11 μm이다. 디스크 상에서 TA 신호의 검출은 Guzik spinstand 시험기를 이용하여 dc-erase된 디스크 상에서 bump의 위치를 확인한 후, defect failure analysis software의 일종인 WITE 프로그램을 사용하여 일정 패턴의 15 MHz의 고주파 신호를 기록 및 재생하여 그 신호를 오실로스코프로 분석함으로써 판단하였다. 이때 헤드의 기록 및 재생 전류는 MR 헤드의 경우 30 mA 및 10 mA였으며 GMR 헤드의 경우 각각 40 mA 및 5 mA였다.

III. 실험 결과 및 고찰

각 헤드가 TA에 얼마나 민감한지를 알기 위해서 타입 A 헤드와 타입 B 헤드를 사용하여 드라이브를 제작한 후

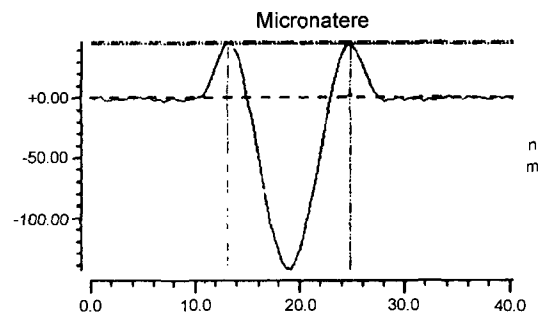


Fig. 5. AFM measurement of a donut or crater type bump shape.

Table 3. Number of TAs observed for type A head and type B head, and size distribution of the particles

No. of Test	Number of TA		Number of different size particles measured with LPC					
	type A head	type B head	0.2-0.3 μm	0.3-0.5 μm	0.5-1.0 μm	1.0-3.0 μm	3.0-5.0 μm	> 5.0 μm
1	35	1	377	1332	21768	20387	6340	1
2	37	1	111	1425	20608	20041	6539	2
3	40	0	1482	1269	11768	11367	3299	1
4	43	5	493	1652	22213	20234	6212	0
5	43	4	267	1174	20163	18805	6072	1
6	37	5	1039	877	13290	13190	4242	1
7	48	11	1407	854	12085	11035	3159	0
8	194	13	0	1535	22654	21468	6572	2

입자 분사 챔버에 넣어 실험하였다. 이때 디스크는 타입 B 디스크를 공통으로 사용하였다. 각기 다른 드라이브를 챔버에 평행하게 위치시킨 후 입자를 분사시켜 TA 발생의 횟수를 기록하였으며, Table 3은 실험을 수행한 후의 TA 발생 개수 및 챔버 내의 입자의 개수 등을 나타내고 있다. 타입 A 헤드가 타입 B 헤드에 비하여 TA가 매우 많음을 알 수 있다. 한편 LPC 측정 결과에 의하면 Al₂O₃ 입자 크기의 분포는 0.2 μm에서 5 μm로 분포하나 대부분 지름이 1 μm임을 알 수 있다. 다음에는 슬라이더 ABS 형태가 TA에 얼마나 영향을 미치는지 알기 위하여 타입 A 헤드와 타입 C 헤드를 비교하였다. 전술한 바와 같이 타입 C 헤드는 MR 센서 및 기타 제원이 타입 A 헤드와 모두 동일하고 단지 ABS 형태만 타입 B 헤드의 ABS를 채용한 것이다. 타입 A 헤드와 타입 C 헤드에 대하여 입자 분사 실험을 실시하여 TA 개수를 측정한 결과가 Table 4에 나타나 있다. 타입 A 헤드가 타입 C 헤드에 비하여 비교적 많은 TA를 발생시키고 있음을 알았다. 그러나 이전 실험인 타입 A와 타입 B 실험에 비하여 TA 발생의 차는 그리 크지 않음을 알 수 있다. 타입 C 헤드에서 사용된 ABS 형태가 타입 A 헤드의 ABS 보다 TA를 감소시키는 데에 유리한 것은 Zhang 등[5]이 예측한 결과와 동일하다. 즉 타입 C 헤드에서 사용된 슬라이더 ABS의

특징은 헤드 선단부에 유선형을 구부러진 channel 형태의 ABS를 설계하여 입자들이 channel을 따라서 움직임으로서 MR 센서와의 접촉을 방지하였다. 또한 슬라이더 중앙으로부터 들어오는 입자들에 대해서는 channel 중앙에 구멍을 뚫어 입자들이 구멍을 통하여 헤드 후단부로 직접 통과하도록 하였다. 따라서 ABS의 형태를 입자들이 MR 센서 부분, 즉 헤드 pole 부근에 덜 충돌하게 할 경우 TA 발생을 어느 정도 감소시킬 수 있음을 알 수 있다. 그러나 타입 A 헤드와 타입 B 헤드 실험(Table 3)에 비하여 TA 발생의 차가 많이 나지 않는 것으로 보아서 TA 민감도의 주된 인자는 슬라이더 ABS의 형상보다는 MR 센서의 전기적 또는 구조적 특성인 것으로 사료된다.

Table 5는 MR 헤드(타입 A 헤드)와 GMR 헤드(타입 D 헤드)의 TA 민감도에 대한 결과가 나타나 있다. GMR 헤드가 MR 헤드에 비하여 TA가 덜 발생됨을 알 수 있다. 전술한 바와 같이 이 실험에서 MR 헤드의 바이어스(bias) 전류는 10 mA였으며 GMR 헤드의 바이어스 전류는 5 mA였는데 이 바이어스 전류값은 MR 및 GMR 헤드 사용 시 통상적으로 사용되는 전류값들이다.

각 헤드에 따라 TA 민감도가 다른 이유는 ABS가 다른 이유 외에도 여러 가지 이유가 있을 수 있다. 특히 MR/GMR 센서의 재료 특성 및 shield와 gap 간격 등이 많은

Table 4. Number of TAs observed for type A head and type C head (heads of different ABS types), and size distribution of the particles

No. of Test	Number of TA		Number of different size particles measured with LPC					
	type A head	type C head	0.2-0.3 μm	0.3-0.5 μm	0.5-1.0 μm	1.0-3.0 μm	3.0-5.0 μm	> 5.0 μm
1	38	45	1605	543	8032	7039	2255	0
2	117	43	1618	690	8604	8422	2443	0
3	100	50	0	406	10051	8338	2578	0
4	152	50	1590	721	11359	9665	2950	1
5	125	55	1692	797	10006	8268	2603	0
6	127	56	1316	377	6164	5201	1402	0
7	111	126	1666	688	10971	9398	2798	0
8	124	134	1397	721	7600	6865	1957	0

Table 5. Number of TAs observed for type A head (MR head) and type D head (GMR head)

No. of Test	Number of TA		Number of different size particles measured with LPC					
	type A head	type D head	0.2-0.3 μm	0.3-0.5 μm	0.5-1.0 μm	1.0-3.0 μm	3.0-5.0 μm	> 5.0 μm
1	43	11	1466	772	9666	8687	2681	0
2	47	10	1548	686	9481	7959	2283	0
3	48	20	1853	778	9719	9289	3099	0
4	72	28	1628	727	6910	6687	2345	0
5	91	29	1793	956	12392	10862	3418	1
6	127	26	1694	617	8251	7611	2414	0
7	98	22	1556	750	8145	7570	2334	0

영향을 미친다. 즉, TA라는 현상은 입자가 MR/GMR 소자와 부딪혔을 때 순간적으로 MR/GMR 소자에 열을 발생시켜 초래되는 현상임으로 MR/GMR 센서가 발생된 열을 순간적으로 얼마나 잘 방출할 수 있는 구조로 되어 있는냐에 따라 TA의 민감도가 결정되는 것이다[8]. 또한 슬라이더의 크기, 즉 nano 슬라이더나 pico 슬라이더나에 따라서도 영향이 있을 수 있다. 한편 센서에 가해준 바이어스 전류에 따라서도 TA 특성이 많이 차이가 날 수가 있다[4]. 이러한 여러 가지 의문을 조사하기 위해서 디스크에 bump를 만들어 이 bump 디스크로 헤드가 디스크 위를 부상 시 헤드와 bump가 충돌하게 될 때의 헤드의 출력 전압을Guzik spinstad 시험기를 이용하여 측정하는 방법으로 디스크 단품 레벨에서 TA 시험을 하였다. 실험은 바이어스 전류를 증가 시키면서 각각의 헤드가 디스크 상의 bump와 충돌하였을 경우 순간적으로 헤드에서 발생하는 출력 전압, 즉 TA 신호를 관찰하였다. Fig. 6에서와 같이 TA가 발생되었을 경우의 각 헤드의 TA amplitude는 바이어스 전류를 증가시키에 따라 증가되었다. 한편 타입 A 헤드가 타입 B 헤드 보다 전 바이어스 전류 영역에 대하여 TA amplitude가 컸으며, GMR 헤드인 타입 C 헤드가 MR 헤드인 타입 A 헤드 보다 TA amplitude가 적음을 알 수 있다. 이 결과는 앞에서 진행된 드라이브 입자 분사 시험의 TA 민감도 결과와 일치하는 것으로 TA amplitude가 큰 헤드가 TA 발생 개수가 많음을 알 수 있다. 따라서 TA 민감도는 주로 MR/GMR 센서의 특성에 영향을 받으며 슬라이더의 ABS 형태도 약간의 영향이 있는 것으로 생각된다.

한편 Fig. 6에서 바이어스 전류가 9mA인 경우의 TA amplitude는 타입 A 헤드의 경우 5 mV, 타입 B인 경우에는 2 mV, GMR 헤드인 타입 C 헤드의 경우에는 4.2 mV이다. 따라서 만일 GMR 헤드의 바이어스 전류를 MR 헤드와 같이 10 mA 정도로 사용한다면, TA 민감도는

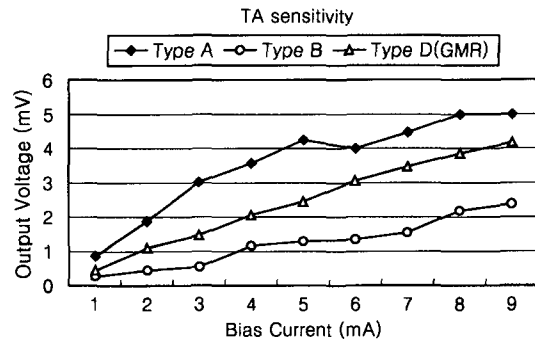


Fig. 6. TA amplitude of each head with increase of bias current tested on a bump disk.

MR 헤드와 거의 유사할 것으로 사료된다. 그러나 실제로 GMR 헤드의 바이어스 전류를 10 mA로 사용하면 GMR 헤드 센서의 손상을 초래하여 실제적으로 사용할 수 없게 된다.

디스크의 TA 민감도를 고찰하기 위하여 4가지 종류의 디스크에 대하여 실험하였다. 우선 각 디스크들과 타입 A 헤드를 사용하여 드라이브를 제작한 후 입자 분사 챔버에 넣고 TA의 발생 개수를 관찰하였다. 입자 분사 챔버의 크기가 제한되고 챔버의 팬이 작음으로 챔버에서 순환되는 입자의 분포가 위치에 차이가 있을 수 있음으로 실험에서는 오직 2대의 드라이브만을 입자 분사 챔버에 넣어 비교하였다.

각 디스크에 대한 TA의 발생 개수의 비교가 Table 6에 나타나 있다. 우선 타입 A와 타입 B 디스크를 비교하였다. 타입 A 디스크로 제작된 드라이브는 타입 B 디스크에 비하여 약 2배 정도의 많은 TA가 발생되었다. 다음 타입 A 디스크와 타입 C 디스크의 비교에서는 타입 A 디스크가 타입 C 디스크에 비하여 더 많은 TA를 발생시키고 있다. 타입 B 디스크와 타입 C 디스크의 비교 실험에서는

Table 6. Number of TAs observed for four types of the disk

No. of test	Comparison of type A vs. type B disk (No. of TA)		Comparison of type A vs. type C disk (No. of TA)		Comparison of type B vs. type C disk (No. of TA)		Comparison of type A vs. type D disk (No. of TA)	
	Type A disk	Type B disk	Type A disk	Type C disk	Type B disk	Type C disk	Type A disk	Type D disk
1	6	6	1	4	24	6	0	7
2	7	10	4	4	27	6	4	12
3	10	9	19	6	32	11	7	18
4	10	13	22	7	40	8	4	25
5	19	19	28	6	42	8	5	39
6	62	39	27	8	41	10	3	71
7	84	49	31	18	40	11	6	68
8	88	48	30	17	37	12	7	61

타입 B 디스크가 타입 C 디스크에 비하여 더 많은 TA를 발생시켰다. 따라서 TA의 발생은 A디스크가 제일 많았으며 C 디스크가 제일 적었다. 한편 타입 A 디스크와 타입 D 디스크를 비교한 결과 타입 D 디스크가 더 많은 TA를 발생시킴을 알 수 있다. 따라서 TA의 발생 개수, 또는 TA 민감도는 타입 D 디스크가 제일 컸으며 다음은 타입 A 디스크, 타입 B 디스크의 순위였으며 타입 C 디스크가 제일 적은 TA를 발생시켰다.

디스크의 어떤 요소가 TA의 발생에 영향을 미치는 지에 관해서는 아직 확실치 않다. 하지만 다음의 두 가지 요소가 가장 중요한 것으로 생각된다. 즉 디스크 표면의 경도 및 탄성계수 등과 같은 기계적인 특성들과 디스크의 표면에너지(surface energy)의 두 가지이다. 가령 디스크의 경도가 높으면 디스크에 존재하는 입자들이 헤드와 충돌하였을 경우 디스크에 잘 안 박힐(embedded) 것으로 생각된다. 그러한 경향은 경도가 높은 glass 디스크를 사용하면 입자에 의한 디스크의 손상이 감소된다는 연구 결과와 같다[7].

먼지 입자들이 TA를 발생시키는 메커니즘을 살펴보면, 먼지 입자들이 헤드와 충돌한 후 디스크 표면에 스크래치를 발생시키고, 그 후에 디스크에 박혀 TA를 발생시킨다. 따라서 디스크 표면의 기계적 특성을 효과적으로 비교할 수 있는 micro-scratch 시험 방법이 디스크의 TA 민감도를 연구하는 좋은 방법이라고 생각되었다. Micro-scratch 시험은 Digital Instrument사의 Dimension 3000 AFM scratch tester를 이용하여 측정하였다. Scratch 측정(tip)은 pyramid 형태로서 끝 부분의 반경이 20 nm인 다이아몬드 측침을 사용하였고, 64 μN 의 외부 하중이 사용되었다. Scratch 시험 후 scratch 깊이의 측정은 AFM의 section analysis software를 사용하여 측정하였으며 각 디스크 당 3회를 측정하여 평균하였다. Table 7은 각 디스크를 micro-scratch 시험한 후의 결과를 나타낸다. Scratch 깊이가 카본 overcoat층의 두께 보다 적음을 알 수 있다. Scratch 깊이가 크다는 것은 scratch가 많이 발생하였다는

것을 의미하며 scratch 저항력이 적다는 것을 의미한다. 표에서 보듯이 깊이는 타입 D 디스크가 가장 컸고, 그 다음 타입 A, 타입 B 디스크였으며 타입 C 디스크가 가장 적었다. 이 결과는 Table 6의 드라이브 입자 분사 실험과 일치하는 것으로 TA가 적은 디스크가 scratch 깊이가 작음을 알 수 있다. 따라서 TA 개선을 위해서는 디스크의 scratch 저항력을 향상시켜야 하며, 먼지 입자의 크기를 고려하면 카본 overcoat 층의 기계적 특성을 향상시킬 필요가 있는 것으로 사료된다.

한편 디스크의 표면에너지도 중요한 요소이다. 디스크의 표면에너지가 높다는 의미는 주위의 먼지 입자나 기타 오염 등이 디스크에 잘 달라 붙는다는 것을 의미하며 표면에너지가 낮다는 것은 그만큼 입자 및 오염 등이 달라 붙는 것이 어렵다는 것을 의미한다. 따라서 TA 개선을 위해서는 디스크의 표면 에너지를 감소하는 것이 유리하다. 표면에너지가 TA 발생에 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위하여 각 디스크의 표면 에너지를 측정하였다. 표면 에너지는 goniometer를 이용하여 water contact angle을 측정하여 산출하였다[9]. 각 디스크의 표면 에너지의 값이 Table 2에 나타나 있다. 각 디스크의 표면 에너지가 다른 이유는 윤활막의 특성 및 디스크 제작 시 제작 공정 등이 다르기 때문이다. 표면 에너지는 타입 B 디스크가 가장 크며 타입 D 디스크가 가장 적었다. 전술한 바와 같이 표면 에너지가 크면 디스크에 입자 및 오염물질이 부착되기 쉽다. 따라서 표면 에너지가 큰 디스크가 TA를 많이 발생할 것으로 예측하였다. 그러나 표면 에너지의 값들과 앞서 진행된 드라이브 입자 분사 실험 결과를 비교하여 보면 전혀 상관 관계가 없음을 알 수 있다. 가령 TA 발생이 제일 적었던 타입 C 디스크의 표면 에너지가 타입 A 및 타입 D 디스크에 비해서 크음을 알 수 있으며, TA 발생이 제일 많았던 타입 D 디스크가 표면 에너지가 가장 적은 것은 예측과 상반되는 결과였다.

디스크가 회전할 때 디스크 표면에 존재하는 먼지 입자에 작용되는 힘은 디스크 회전에 의한 원심력, 입자의 무게에 의한 중력, 그리고 디스크 표면에 존재하는 윤활막에 의한 모세관력(capillary force)이다[10]. 즉 입자들이 이탈하려는 원심력과 이탈을 못하도록 방지하는 중력 및 모세관력이 서로 작용하고 있는 것이다. Li 등[11]이 밝혔듯이 1 μm 크기의 입자의 경우는 디스크 표면의 윤활막에 의한 모세관력이 너무 커서 입자들이 디스크 표면으로부터 거의 이탈할 수 없다. 현재 드라이브에서 TA를 발생시키는 입자의 크기가 1-2 μm 인 것을 감안하면 일단 드라이브에

Table 7. Scratch depth for four types of disks measured with AFM

Disk type	Scratch Depth (Å)				
	1st	2nd	3rd	Average (Å)	Sigma (Å)
Type A	72	45	70	62	15
Type B	44	62	72	59	14.2
Type C	49	46	45	47	2.1
Type D	103	80	75	86	14.9

입자들이 부착되면 디스크가 회전하여도 입자들이 이탈할 수 있는 가능성은 거의 없다고 하겠다. 따라서 디스크의 표면에너지는 TA의 발생에는 큰 영향을 미치지 않는다. 그러나 입자의 크기가 10-100 μm인 경우에는 표면에너지의 크기에 따라 디스크 회전 시 입자들이 어느 정도 이탈하게 된다.

생을 감소시킬 수 있다. 그러나 먼지 입자가 디스크 표면에 부착되는 정도를 결정하는 표면에너지는 TA 발생에 거의 영향을 미치지 않는다. 이는 TA 발생을 초래하는 먼지 입자의 크기가 1-2 μm로서 디스크 표면의 유희막에 의한 모세관력이 너무 커서 입자들이 디스크 표면으로부터 이탈할 수 없기 때문이다.

IV. 결 론

참 고 문 헌

본 논문에서는 드라이브의 입자 분사 시험 및 bump 디스크 시험을 통하여 헤드 및 디스크의 TA 민감도 분석을 수행하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 헤드의 TA 민감도는 MR 및 GMR 센서의 재질 및 특성에 많은 영향을 받으며 특히 바이어스 전류가 증가함에 따라 TA 민감도는 증가한다. GMR 헤드는 MR 헤드에 비하여 TA amplitude가 적다. 그러나 바이어스 전류를 MR헤드와 동일하게 적용하면 TA 민감도는 MR 헤드와 거의 유사할 것으로 사료된다. 한편 슬라이더의 ABS 형태를 적절히 설계 함으로서 TA를 어느 정도 감소시킬 수 있다. 특히 channel 형태의 ABS는 TA를 감소시키는데 매우 효과적이다.

2. 디스크의 경우 디스크 카본 overcoat층의 scratch 저항력은 디스크의 TA 민감도와 밀접한 관련이 있다. 즉 디스크 표면의 scratch 저항력을 증가 시킴으로써 TA의 발

- [1] K. J. Altschuler, J. C. Harrison and E. Ackerman, Trans. ASME J. Tribology, 98-TRIB-47 (1998).
- [2] B. Hiller and B. Brown, Adv. Inform. Storage Syst., 5, 351(1992).
- [3] K. B. Klaassen and J.C.L. van Peppen, IEEE Trans. Magn. 33, 2611(1997).
- [4] E. Sawatzk, Data Storage, 2, 49(1998).
- [5] S. Zhang and B. D. Bogy, Trans. ASME J. Tribology, 119, 537(1997).
- [6] M. Bergin and R. Koka, Adv. Inform. Storage Syst., 5, 387(1992).
- [7] L. Zhang, R. Koka, Y. Yuen and E. Lam, IEEE Trans. Magn., 35, 927(1999).
- [8] Z. Yuan and B. Liu, J. Magn. Magn. Mater., 209, 166 (2000)
- [9] P. B. Leezenberg, C. C. Martner, B. D. Hermismeier, and M. S. Crowder, IEEE Trans. Magn., 35, 2391(1999).
- [10] M. B. Ranade, Aerosol Sci. and Technol., 7, 161(1987).
- [11] Y. Li and V. Sharma, Trans. ASME J. Tribology, 122, 293(2000).

Sensitivity and Rejection Capability of Thermal Asperity Induced by Sub-Micron Contamination Particles

Sung-Hoon Choa

Samsung Electronics, Corporate R&D Center

(Received 22 September 2000, in final form 15 November 2000)

With use of (G)MR head, thermal asperity (TA) has been a big concern in drive industry. In this study, we investigated several factors of heads and disks which affects the TA sensitivity of the drive. TA experiments were conducted by introducing the particles on the drives using a particle injection chamber. It was found that the slider ABS shape can help to reduce TA or contamination in the head/media interface. However, TA sensitivity of the drive mainly depend on the intrinsic property of (G)MR sensor. GMR head is much less sensitive to TA compared with MR head. However, in case that the same bias current was applied for both of MR and GMR head, TA sensitivity of GMR head became almost identical to that of MR head. Therefore it was found that the bias current is a dominant factor in determining TA sensitivity of the head. TA sensitivity of different types of disks was also studied. The scratch resistance of the the carbon overcoat layer is the one of the main factors which influence TA rejection capability of the disks.