

평면 실리콘 헤드를 사용한 하드 디스크 드라이브 시스템의 Average Bit Error Rate 시뮬레이션

서정욱 · 조순철

승실대학교 전자공학과
서울특별시 동작구 상도 5동 1-1, 156-743

김용수 · 노광춘

삼성종합기술원 기반기술연구소 정밀기계연구실
수원우체국 사서함 111, 440-600

(1998년 2월 2일 받음, 1998년 11월 2일 최종수정본 받음)

평면 실리콘 헤드를 사용한 하드 디스크 드라이브(hard disk drive : HDD) 시스템의 average bit error rate(ABER)를 계산하였다. ABER을 구하기 위해 3차원 유한 요소법을 사용하여 헤드 자장 분포를 구하고 error rate response surface(ERRS)를 구하였다. 다음에 track misregistration(TMR)과 계산되어진 ERRS를 컨볼루션하여 ABER을 시뮬레이션 하였다. 허용할 수 있는 에러율이 10^{-6} 이라 하고 트랙 피치가 $3.7 \mu\text{m}$ 일 때, 요구되는 TMR은 $0.36 \mu\text{m}$ 이었다. 이는 트랙 피치의 9.7%이었다.

I. 서 론

주어진 average bit error rate(ABER)와 트랙 피치에 대해 track misregistration(TMR)을 추정하는 것은 하드 디스크 드라이브(hard disk drive : HDD) 시스템 설계에 필수적이다. 본 연구에서는 에러 율에 대한 데이터를 시뮬레이션 결과와 비교하지는 못하였지만 에러 율은 디스크에 데이터 pattern을 기록한 다음 재생할 때 데이터 pattern이 기록된 데이터 pattern과 비교해 정확히 재생되었는지를 비교하여 측정할 수 있는데, 여러 보고들에 의하면 대체로 10^{-6} 에서 10^{-9} 까지의 값을 갖는 것으로 알려져 있다[1-3]. 에러 측정을 위해서는 error rate response surface(ERRS) 측정에 필요한 데이터를 수집해야 하며, 헤드의 에러 율은 헤드가 제작되기 전에 알 수 있어야 하지만, 현실적으로는 만들어진 헤드로 에러 율을 측정해야한다[4,5]. 따라서 ABER과 TMR을 시스템이 제작되어지기 전에 예측할 필요가 있다.

평면 실리콘 헤드(planar silicon head : PSH)는 일반 헤드와 비교해 코일을 좌우 대칭으로 감아서 인덕턴스가 적고, 잡음이 적으며, 공극 뒷면의 폴 사이의 거리가 멀기 때문에 폴 뒷면으로 빠져 나가는 자속이 인덕티브 헤드보다 작아서 손실이 적다[6]. PSH의 제조 과정

은 반도체 IC 기술을 사용하여 일반 헤드 제조 공정보다 비용이 적게 드는 이점이 있다. 그러므로 PSH는 제품시장에서 수요가 증가되리라 생각된다. 그러나 PSH에 대한 연구는 많이 보고되지 않고 있다.

본 논문에서는 PSH를 3차원으로 모델링 하였으며, 3차원 유한 요소법을 사용하여 헤드 자장 분포를 구하고, 구하여진 자장 분포를 이용하여 출력전압, 747 곡선, ERRS, ABER을 시뮬레이션 하였다. ERRS와 ABER를 모두 시뮬레이션을 통해 얻어서 임의의 헤드 구조가 주어지면 헤드의 에러 율을 예측할 수 있다. 단지, MR 헤드일 경우는 MR 헤드의 비대칭적인 가장자리 재생 특성을 고려해서 약간의 수정이 필요하다[5].

II. 시뮬레이션 방법

Fig. 1은 헤드 자장 분포를 구하기 위해 PSH를 1/4 등분하여 3차원으로 모델링한 그림이다. PSH는 좌, 우, 앞, 뒤가 대칭이므로 1/4만으로 모델링이 가능하다. 유한 요소법을 이용하여 3차원 헤드 자장 분포를 구하였다.

헤드가 매체에 데이터를 기록할 때 항상 일정한 트랙 피치를 유지하지 않을 수도 있으며, 재생시에도 헤드가 항상 트랙의 중앙에 위치 하지 않을 수도 있어서

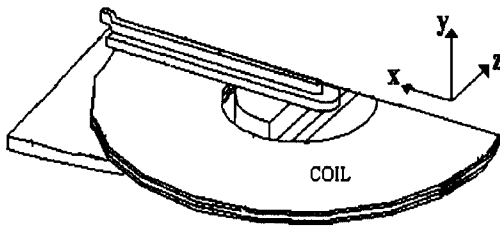


Fig. 1. 3 dimensional simulation quarter model for PSH.

신호의 간섭이 생기게 된다[5]. Fig. 2는 간섭 상황의 트랙과 헤드의 상태를 나타내는 그림이다. 에러와 간섭의 이유는 하드 디스크 자체의 진동에 의해서 발생하고, 재생시 트랙 위치를 찾는 과정에서도 발생한다. 또, 실제 헤드 자장의 폭은 헤드의 물리적인 폭보다 더 넓다. 그래서 guard band내의 옛 정보와 근접 트랙에서부터의 신호, 즉 간섭들이 헤드의 side reading에 의해 헤드 출력 신호에 존재한다. ϵ_{OP} 은 데이터 트랙의 중앙에서 헤드가 벗어난 정도를 나타내고, ϵ_{WW} 는 기록된 데이터 트랙으로부터 일정한 간격을 두고 인접 트랙을 기록할 때의 에러이다. 또한 W_T 는 트랙의 폭을 나타내며, W_{TP} 는 데이터 트랙과 인접한 트랙간의 간격인 트랙 피치를 나타낸다.

간단히 ERRS를 얻기 위해서, 우선 이전 정보(old information)들이 기록되어 있는 트랙 중앙에 우리가 원하는(detected) 트랙을 기록한다. 그리고 헤드를 좌측 이전 정보로부터 우측 이전 정보까지 움직이면서 에러율을 계산한다. 이때의 에러율이 ERRS 이다. 즉, ERRS는 헤드가 우리가 원하는 트랙으로부터 얼마만큼 off-track 되어 있는지를 나타내는 에러율이라 할 수 있다. ERRS 값들을 plotting 하면 육조 단면 모양의 곡선이 된다. 그래서 ERRS를 "bathtub curve"라고도 한다[7].

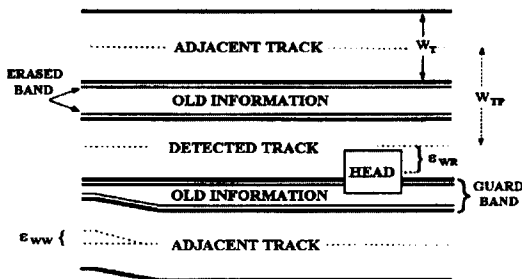


Fig. 2. Read process geometry: the perspective is from above, looking down on the disk, the head moving horizontally along the center track[5].

시스템의 에러율은 ϵ_{WR} 과 ϵ_{WW} 에 의해서 영향을 받게 된다. 이들이 변화함에 따라서 ERRS 또한 변화하게 된다. 그러므로 ERRS는 ϵ_{WR} 과 ϵ_{WW} 의 함수이다. 시스템의 ERRS는 간섭의 확률 분포에 에러의 조건부 확률을 곱하여 적분함으로써 계산할 수 있고 다음과 같이 표현된다[5].

$$P(e | \epsilon_{WW}, \epsilon_{WR}) = \int_{-\infty}^{\infty} P(e | i, \epsilon_{WW}, \epsilon_{WR}) P(i | \epsilon_{WW}, \epsilon_{WR}) di \quad (1)$$

간섭 i 는 근접 트랙의 신호와 전에 기록된 데이터 트랙의 신호이다. 그리고, 에러율은 intertrack 간섭의 함수로써 다음의 식과 같이 표현된다.

$$P(e | \epsilon_{WW}, \epsilon_{WR}, i) = Q\left(\frac{S-i}{\sigma}\right) \quad (2)$$

여기서 S 는 신호 크기, σ 은 channel noise, 그리고 $Q(x)$ 는 Gaussian tail의 면적이다. S 와 i 는 가역 정리에 의해 얻어지고 헤드 자장과 매체 자화의 convolution으로 주어진다[8, 9].

본 논문에서는 헤드 자장을 얻기 위해 Maxwell 3D program package를 사용하였다. 그리고, ERRS, ABER을 구하기 위해 Fortran 90 프로그램을 이용하여 시뮬레이션을 하였다.

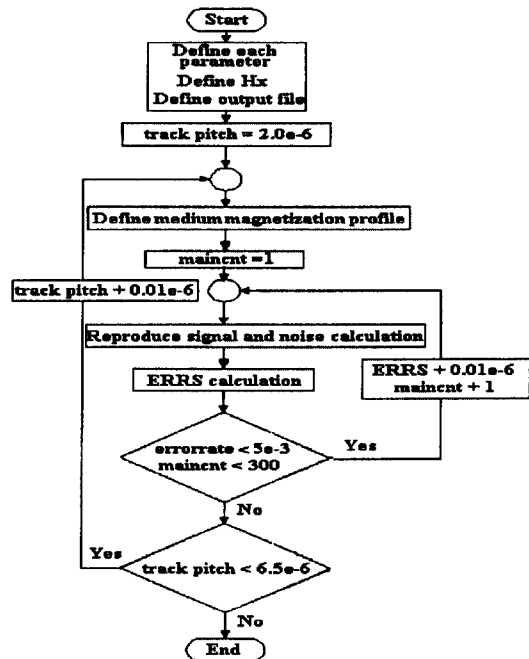


Fig. 3. The flowchart for calculation of error rate response surface.

ERRS를 시뮬레이션하기 위해서 우선 매체가 균일하게 자화되었다고 생각하였으며, 매체가 기록될 때 각각의 경우에 데이터 pattern(magnetization profile)을 설정하였다. 본 논문에서 사용된 프로그램의 순서도를 Fig. 3에 나타내었다.

이렇게 구해진 ERRS를 통하여 ABER을 다음의 식으로 구할 수 있다[4].

$$\begin{aligned}
 ABER = & \frac{1}{(2\pi)^2 TMR_{WR} (TMR_{WW})^3} \\
 & \times \int_{-\infty}^{\infty} dL \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{L}{TMR_{WW}} \right)^2 \right] \\
 & \times \int_{-\infty}^{\infty} dR \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{R}{TMR_{WW}} \right)^2 \right] \\
 & \times \int_{-\infty}^{\infty} dC \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{C}{TMR_{WW}} \right)^2 \right] \\
 & \times \int_{-\infty}^{\infty} dX \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{X}{TMR_{WR}} \right)^2 \right] \\
 & \times ERRS(L, R, C, X)
 \end{aligned} \tag{3}$$

여기서 TMR_{WR} 은 write to read TMR, TMR_{WW} 는 write to write TMR이다. L, R, C는 writing할 동안 각각 왼쪽, 오른쪽, 가운데 트랙에서 헤드의 displacement이며, X는 reading할 동안 on-track 되었을때와 비교하였을

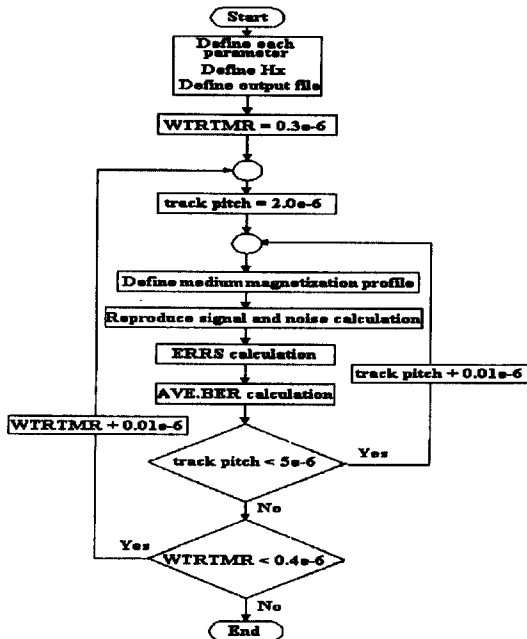


Fig. 4. The flowchart for calculation of average bit error rate.

때의 displacement이다. 본 논문에서 사용된 프로그램의 순서도를 Fig. 4에 나타내었다.

III. 결과 및 고찰

Fig. 5(a)는 3차원 PSH 자장의 x 성분이다. 트랙 폭은 매체의 보자력보다 헤드 자장이 큰 지점에서 결정되어지며 여기서는 트랙 폭이 $3.2 \mu\text{m}$ 이다. z 성분은 소거 밴드 폭을 결정하며 Fig. 5(b)에 나타내었다. 소거 밴드 폭은 $0.25 \mu\text{m}$ 이었다.

본 논문에서 PSH의 flying 높이는 665 \AA , 공극은 $0.2 \mu\text{m}$ 였으며, 미디어의 보자력은 1800 Oe , Mrt 값은 1.54 memu/cm^2 이었다. 시스템의 channel noise (σ)는 $7.1 \mu\text{V}$ 라 가정하였다. 그리고 매체와 헤드간의 상대 속도는 32.3 m/s 이었다. Fig. 6은 isolated transition의 시뮬레이션 전압과 실험에 의한 측정 전압을 나타낸다.

시뮬레이션 전압의 피크 전압과 펄스 폭이 실제로 측정한 것보다는 작게 나왔지만 상당히 근사함을 알

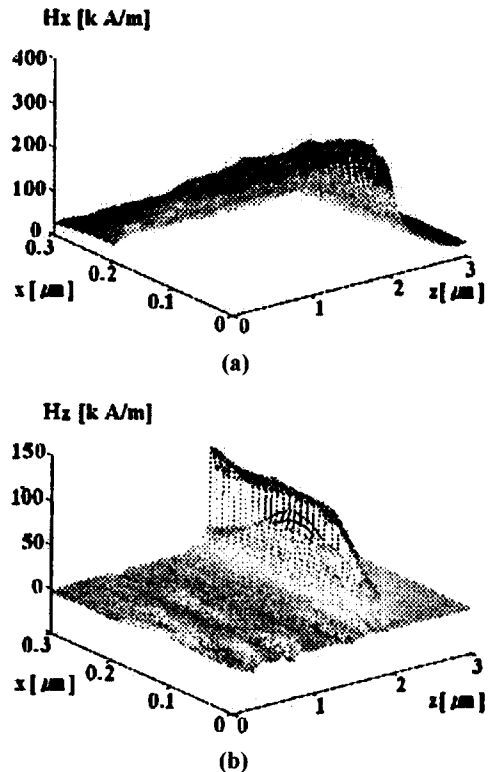


Fig. 5. Writing head field at the center of media : (a) H_x component (b) H_z component.

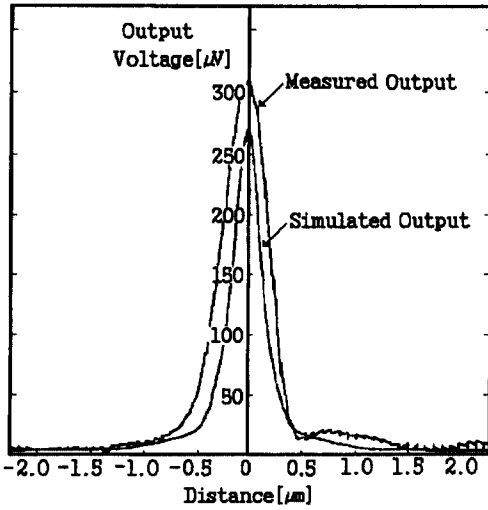


Fig. 6. Simulated and measured output voltage of an isolated transition.

수 있다.

Fig. 7은 헤드의 off-track capability(OTC)를 나타내는 747 곡선이다.

747 곡선을 plotting하기 위해서는 쓰여진 데이터 트랙, 그 이전에 기록된 두 개의 양쪽 트랙, 그리고 근접 트랙이 필요하다[2]. Fig. 7에서 보는 바와 같이 track pitch가 3.7 μm (트랙 폭+2×소거 밴드 폭)에서, OTC가 최대이다. 이것으로 track density가 최대일 때는 3.7 μm 임을 알 수 있다.

Fig. 8은 본 ERRS 프로그램으로 시뮬레이션한 결과이다. 두 개의 트랙 중앙에 데이터 트랙을 기록하고 헤드를 데이터 트랙의 중앙에서부터 조금씩 우측으로 이

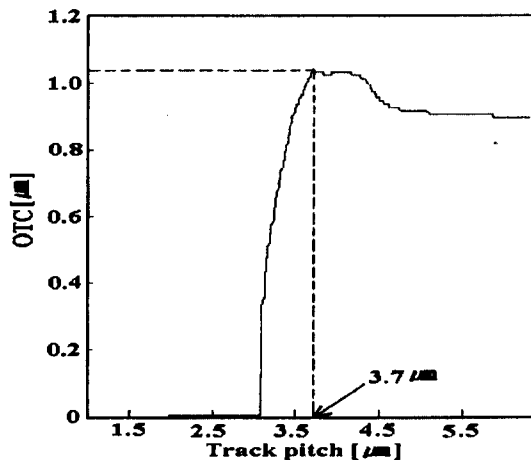


Fig. 7. 747 curve estimation of error rate response surface.

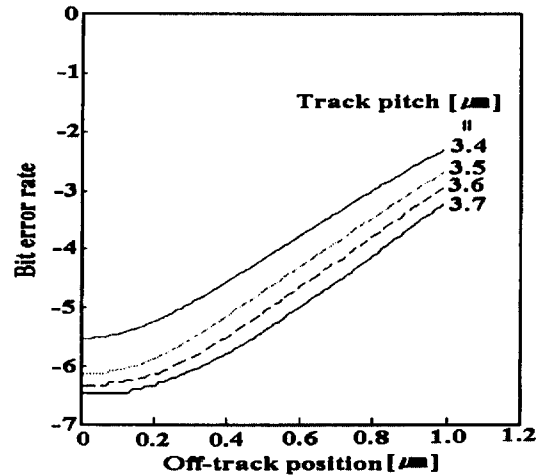


Fig. 8. ERRS for various adjacent track squeeze conditions.

동했을 때의 결과이다. 트랙 피치는 3.4 μm 에서 3.7 μm 까지 변화시켰다. x축은 트랙 폭 방향으로 헤드의 움직인 정도를 나타내고 y축은 구하여진 ERRS의 log 값을 나타낸다. 예상된 결과이지만 앞에서 언급한 bathtub 형태를 나타낸다. 트랙 피치가 줄어들수록 bit 에러율이 높아지는 것을 볼 수가 있다. 이 결과를 통하여 ABER을 계산할 수 있다.

Fig. 9는 TMRWR과 계산되어진 ERRS를 컨볼루션하여 ABER을 시뮬레이션 한 것이다. 이 그림으로부터 주어진 ABER 과 트랙 피치에 대하여 허용할 수 있는 TMR을 추정할 수 있다. ABER이 10^{-6} 이고 트랙 피치가 3.7 μm 일 때, 허용할 수 있는 TMR은 0.36 μm 이며,

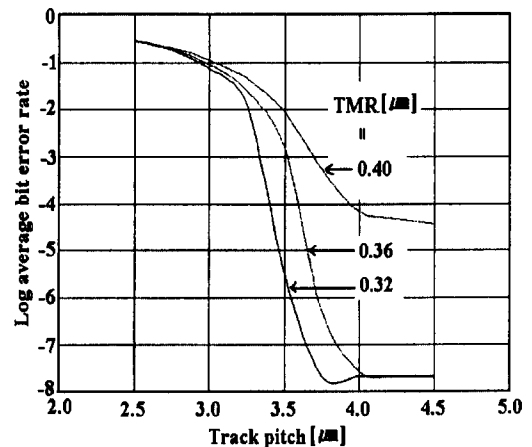


Fig. 9. The average bit error rate considered with TMR variation.

트랙 피치에 약 9.7 %이다.

μm 이었다. 이는 트랙 피치의 9.7 %이었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 평면 실리콘 헤드를 1/4 등분하여 3차원으로 모델링하였고, 3차원 헤드 자장 분포는 유한 요소법을 사용하여 계산하였다. ABER과 이를 얻기 위해 필요한 출력 전압, 747 곡선, 그리고 ERRS를 시뮬레이션 하였다. 출력 전압은 시뮬레이션 전압의 피크 전압과 펄스 폭이 실험치 보다는 적게 나왔지만 상당히 근사함을 알 수 있었다. 747 곡선으로 트랙 피치가 $3.7 \mu\text{m}$ 일 때, 헤드의 OTC가 최대임을 알 수가 있었다. 그리고 ERRS는 bathtub 형태임을 알 수 있었으며 트랙 피치가 줄어들수록 bit 에러율이 커지는 것을 볼 수가 있었다.

이상의 결과를 가지고 TMR의 변화에 따른 ABER을 계산하였다. 허용할 수 있는 에러율이 10^{-6} 이하라고 트랙 피치가 $3.7 \mu\text{m}$ 일 때, 요구되는 TMR은 0.36

참 고 문 헌

- [1] T. D. Howell, D. P. McCown, T. A. Diola, Y. Tang, K. R. Hense, R. L. Gee, IEEE Trans. Magn. **26**(5), 2298(1990).
- [2] R. A. Jensen, J. Mortelmans and R. Hauswitzer, IEEE Trans. Magn. **26**(5), 2169(1990).
- [3] F. Jorgensen, The complete handbook of magnetic recording, TAB Books (1995) p. 653.
- [4] P. C. Arnett and D. McCown, IEEE Trans. Magn. **28**(4), 1984(1992).
- [5] M. P. Veal and T. D. Howell, IEEE Trans. Magn. **31**(1), 820(1995).
- [6] J. P. Lazzari, IEEE Trans. Magn. **32**(1), 80(1996).
- [7] C. D. Mee and E. D. Daniel, Magnetic Recording, McGraw-Hill (1988) 2, pp. 103-104.
- [8] C. D. Mee and E. D. Daniel, Magnetic Recording Technology, McGraw-Hill (1995) p. 64.
- [9] 서정욱, 조순철, 김용수, 박노열, 한국자기학회지 **7**(2), 97(1997).

Simulation of Average Bit Error Rate for Computer Hard Disk Drive System Using Planar Silicon Head

Jungwook Seo and Soonchul Jo

Department of Electronic Engineering, Soongsil University, Seoul 156-743, Korea

Young-Su Kim and Chun-Kwang Ro

Precision Mechanics Lab., Samsung Advanced Technology, Suwon 440-600, Korea

(Received 2 February 1998, in final form 2 November 1998)

The average bit error rate (ABER) for a hard disk drive (HDD) system using planar silicon heads was calculated. To calculate the ABER, the head field distribution using 3 dimensional finite element method and error rate response surface (ERRS) were obtained. Then the ABER was simulated by convolving the calculated ERRS with track misregistration(TMR). For the average bit error rate of 10^{-6} and the track pitch of $3.7 \mu\text{m}$, the allowable TMR was $0.36 \mu\text{m}$, about 9.7 % of the track pitch.